técnica

344 associação dos estudantes do instituto superior técnico
janeiro 1965 revista de engenharia

CIMENTO SECIL

Fábrica:

Outão — Setúbal

Telef. 228824/5

Escritório:

R. do Comércio, 56-3.º

LISBOA 2

Telef. 328201/2/3

Silicones

WACKER

para a indústria eléctrica

Resinas de Silicone

As soluções de resina de silicone são vernizes de impregnação, ligantes e vernizes de secagem em estufa, de alta qualidade.

Nos casos em que é necessário enfrentar grande humidade atmosférica e aquecimento invulgar dos materiais de isolamento, tornam-se indispensáveis as soluções de resina de silicone. Resistem a temperaturas contínuas até + 180° C assim como a alternação entre banhos e secagens, não se modificando a estrutura do isolamento de silicone e mantendo-se a alta resistência dieléctrica.

Alcançam-se resultados muito satisfatórios com as resinas de silicone como ligantes para materiais resistentes ao calor. Materiais estratificados de seda de vidro, mica ou amianto colados com silicone apresentam excelentes qualidades térmicas e eléctricas.

Os vernizes para pintura de silicone resistem ao amarelecimento até uma temperatura contínua de + 220° C. Entre outros fins, destinam-se ao envernizamento de aparelhos de aquecimento, demonstrando mesmo a temperaturas mais elevadas uma dureza excelente.

WACKER

WACKER-CHEMIE GMBH

8 Muenchen 22, Alemanha

Esclarecimentos pormenorizados e literatura fornece a nossa representação

QUÍMICA HOECHST, LIMITADA

Rua Sá da Bandeira, 651-1.º — Porto

Av. Duque d'Ávila, 169-1.º — Lisboa-1

UNIÃO ELÉCTRICA PORTUGUESA

S. A. R. L.

SEDE

Rua de Alexandre Herculano, 244 — PORTO

TELEFONES: 2 76 76 / 77 / 78 / 79 — Est. 90

DELEGAÇÃO

Rua Rosa Araújo, 35 — LISBOA

TEL.: 73 11 81/82/83/84/85/86 - 73 33 33 - 48 49 1

●

ELECTRICIDADE DO LINDOSO E DAS CENTRAIS DO FREIXO E DA CACHOFARRA

●

A **UNIÃO ELÉCTRICA PORTUGUESA** distribui, pela mais extensa rede de alta tensão em Portugal (cerca de 2 500 km), energia eléctrica em 70 concelhos, nos distritos de VIANA DO CASTELO, BRAGA, PORTO, AVEIRO, COIMBRA, VISEU, LEIRIA, SETÚBAL e ÉVORA.

técnica

Redacção e Administração: AVENIDA ROVISCO PAIS, I.S.T. * TELEF. 77 54 49 * LISBOA-1

— DIRECTOR
J. F. GOMES DE PINA
— ADMINISTRADORES
J.F.CAETANO GONÇALVES
ASSIS F. MARTINS
— SECRETARIO
J. M. COSTA MONTEIRO
— REDACTORES
HELENA ALVES
BARBOSA COLEN
GIRÃO PINA

EDITOR E PROPRIETÁRIO
ASS. DOS EST. DO IST

PUBLICAÇÃO PERIÓDICA
MENSAL

ANO XL N.º 344
JANEIRO DE 1965

ASSINATURAS:

	3 N.os	6 N.os	10 N.os
Continente e Ilhas	37$50	60$00	110$00
Ultramar Português e Espanha	—	65$00	120$00
Estrangeiro	—	70$00	130$00

NUMERO AVULSO 15$00

COMPOSTO E IMPRESSO
NA
Tip. JORGE FERNANDES, L.da
RUA CRUZ DOS POIAIS, 103
LISBOA

SUMÁRIO

CAPA — **Barragem de Lomaum no Rio Catumbela, Angola — Hidro-Eléctrica do Alto Catumbela**

Págs.

Osciladores com díodos de túnel
Por António A. de Carvalho Fernandes 211

Notas informativas — **Elementos sobre a produção e o consumo de energia na rede eléctrica nacional** 228

Regulação sintética da produção num estaleiro naval
Por Caetano Carreira 229

Órgãos de descarga e de tomada de água da barragem de Lomaum
Por António Quintela 245

Determinação das frequências torsionais próprias duma árvore de manivelas (cambota) dum motor Diesel superior para tracção
Por José António Muñoz Miguez 253

Método higrométrico para a determinação de teores em humidade de materiais porosos
Por Elda de Castro 265

Do Mundo Técnico 273

Biblioteca 283

OS ARTIGOS PUBLICADOS NESTA REVISTA SÃO DE EXCLUSIVA RESPONSABILIDADE DOS AUTORES

Índice Alfabético dos nossos anunciantes

A

Pág.

Aguiar & Melo, Lda. XXXIII
A. Johnson & Co (Portugal), Ltd. . . XXXII
Asea Eléctrica Ld.ª XVIII

B

Bell's e Comp. XLI

C

C. Santos, Ltd.ª . . . . . V e VI
CIDEX VI
CIDLA XXIV
Cimento Secil . . . . . 2.ª da capa
Cometna XX
Companhia de Cimentos Brancos . . VIII
Companhia Portuguesa de Fornos Eléctricos XXXIV
Companhia Portuguesa de Trefilaria XVIII
Companhia União Fabril XIV
Construções Técnicas XXVII

D

Du Point IX

E

Electro-Arco, Ltd.ª IV
Empresa de Cimentos de Leiria . . XXXVII
Empresa Electro Cerâmica XXXI
Empresa de Produtos Asfálticos. . . X
Empresa de Sondagens e Fundações Teixeira Duarte, Ltd.ª . . . . . 3.ª da capa
Empresa Técnica de Equipamentos Eléctricos XI
Empresa Ultramarina de Sondagens e Fundações XXVIII

F

Faber-Castel XII
Fábrica Portugal II
Fanafel XVI
Fassio, Ld.ª XXVIII
Fundações Franki, Lda. I

G

Guedes & Almeida, Lda. XXXIX

H

Harker Sumner & C.ª, Ltd. XXXVIII

I

Impermeábilis XXVI
I. S. T. XLII

J

Pág

Jayme da Costa, Lda XIX
Jorge Gonçalves XXVI
Johann Keller XLII

M

MAGUE XIII
Mobil Oil Portuguesa . . . . . 4.ª da capa
Monteiro Gomes, Lda. XXXVI

N

Novobra, Lda. XVIII

O

Orlando Fernandes XVI

P

Papelaria Fernandes XXXV
Pimentel & Casquilho, Ltd.ª III

Q

Quimicor, S.A.R.L. XXIII
Química Hoechst . . . . . 2.ª da capa

S

Siemens XXV
Shell XXIX
SMEIA XV
Soc Const. Amadeu Gaudêncio . . XXXI
Sociedade Portuguesa Cavan . . . VIII
Sondagens e Fundações, A Cavaco . IV
Sondagens Ródio, Ltd.ª XLII
Sorval XXX
Sotécnica XLII
Standard Eléctrica VII
S. T. E. T. XXI

U

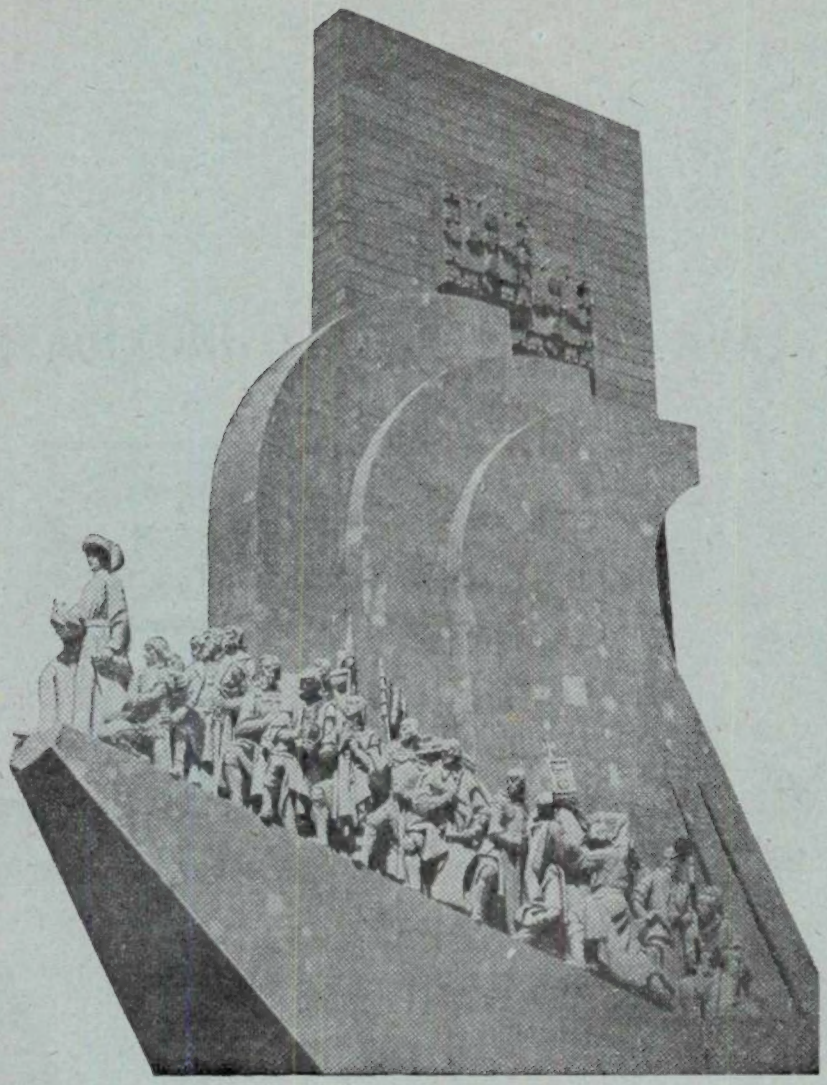
União Eléctrica Portuguesa . . . . . 2.ª da capa

V

Vasco Pessoa, Lda. XVIII

W

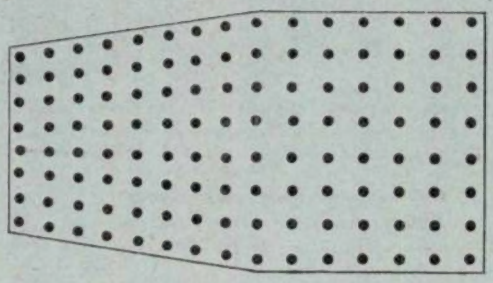
Wild Portugal, Lda. XVII



O PADRÃO DAS DESCOBERTAS

(Praça do Império LISBOA)

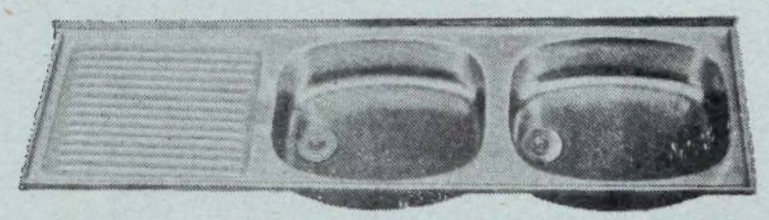
ASSENTE SOBRE 120 ESTACAS FRANKI DE 120 TONELADAS COM UM COMPRIMENTO MEDIO DE 18 METROS POR ESTACA.



FUNDAÇÕES FRANKI, L.DA

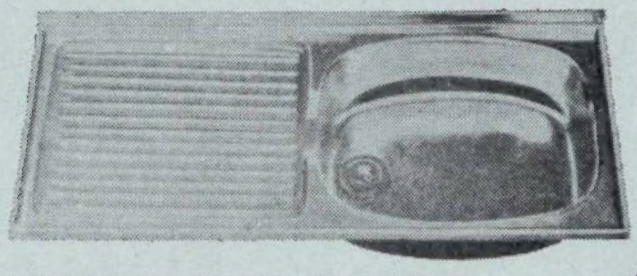
Rua Braamcamp n.° 13-3.° — Lisboa — Telef. P.P.C. 73 4112 — End. Teleg. FRANKI

LAVA-LOUÇAS EM AÇO INOXIDAVEL

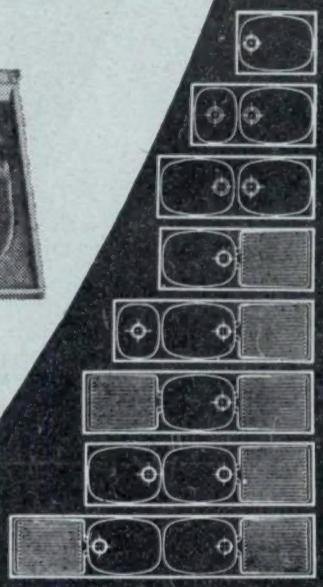


Modernize os lares de Portugal, usando nas suas cozinhas Lava-Louças em AÇO INOXIDAVEL. Concepção e execução da

FABRICA PORTUGAL



elegantes e higiénicos · duração ilimitada · revestidos de isolante especial · fornecidos com sifão de segurança · não partem a louça



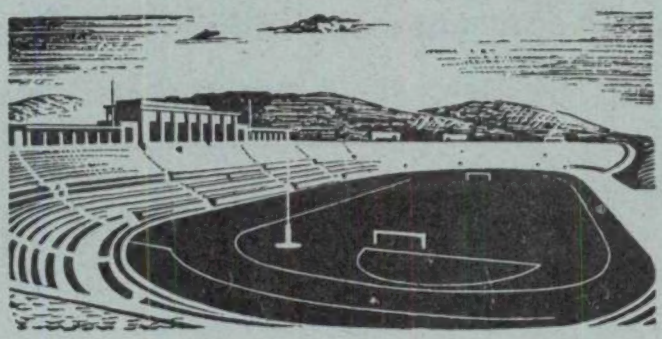
- 8 MODELOS STANDARD · OUTROS MODELOS FORA DE SÉRIE
- MODELOS ESPECIAIS PARA GRANDES INSTALAÇÕES
- IGUAIS AOS MELHORES ESTRANGEIROS

À VENDA NAS BOAS CASAS DA ESPECIALIDADE E NOS SEUS SALÕES DE EXPOSIÇÃO E VENDA

PRAÇA DOS RESTAURADORES · RUA FEBO MONIZ

PIMENTEL & CASQUILHO, L.DA

QUASE 40 ANOS AO SERVIÇO DA ENGENHARIA PORTUGUESA



GRANDE SORTIDO DE INSTRUMENTOS DE PRECISÃO, CIENTÍFICOS E INDUSTRIAIS

RUA JARDIM DO REGEDOR, 24, 2.º
LISBOA
TELEF.: 32 43 14 — 32 42 48 ✦ TELEG.: TECNA

Bombas centrífugas «PACIFIC»

Construídas por

Batignolles - Chatillon

Especialmente destinadas para:

— Petróleos
— Indústrias químicas
— Construções navais
— Centrais eléctricas
— Alimentação de caldeiras
— Etc., etc.

Sob as condições de funcionamento seguintes:

— Débitos: 1 m³/h a 10.000 m³/h
— Pressões: altas e baixas
— Temperaturas: −180° C + 500° C
— Líquidos: corrosivos ou não

Para estudos e orçamentos, consultar o representante em Portugal:

CIDEX — Comércio Internacional
e Representações Industriais, Lda.

Av. Casal Ribeiro, 46-2.°/Telef. 73 53 07/LISBOA 1

Pesquisas e captações de água

Sondagens

Rebaixamento de níveis aquíferos

Injecções e consolidações de terrenos

Fundações

Estacas de betão

SONDAGENS E FUNDAÇÕES A. CAVACO, LDA.

R. RODRIGO DA FONSECA, 62, R/C ESQ. — LISBOA-1
— TELEF. 73 35 45 - 5 95 62 - 55 36 73

ELECTRO-ARCO
LIMITADA

●

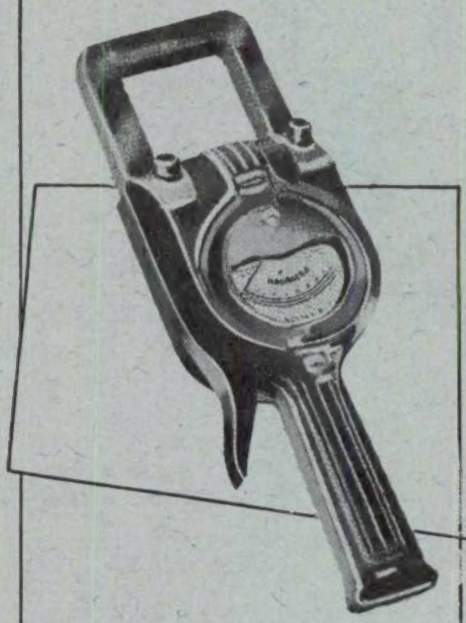
ELECTRODIOS
POSTOS E ACESSORIOS
PARA A SOLDADURA ELECTRICA

●

MATERIAL APROVADO PELO
LLOYD'S REGISTER OF SHIPPING

FÁBRICA E LABORATÓRIOS
VENDA NOVA — AMADORA
LISBOA
RUA SILVA CARVALHO, 239 — TEL 683649
PORTO
RUA DO BOLHÃO, 216 — TEL 21277

PINÇAS FERRANTI



PINÇAS VOLT — AMPERIMÉTRICAS

7 ESCALAS

EM AMPÈRES	EM VOLTS
0 – 10 AMPS.	0 – 150 V
0 – 25 »	0 – 600 »
0 – 100 »	
0 – 250 »	
0 – 1000 »	

PINÇA WATTIMÉTRICA

7 ESCALAS

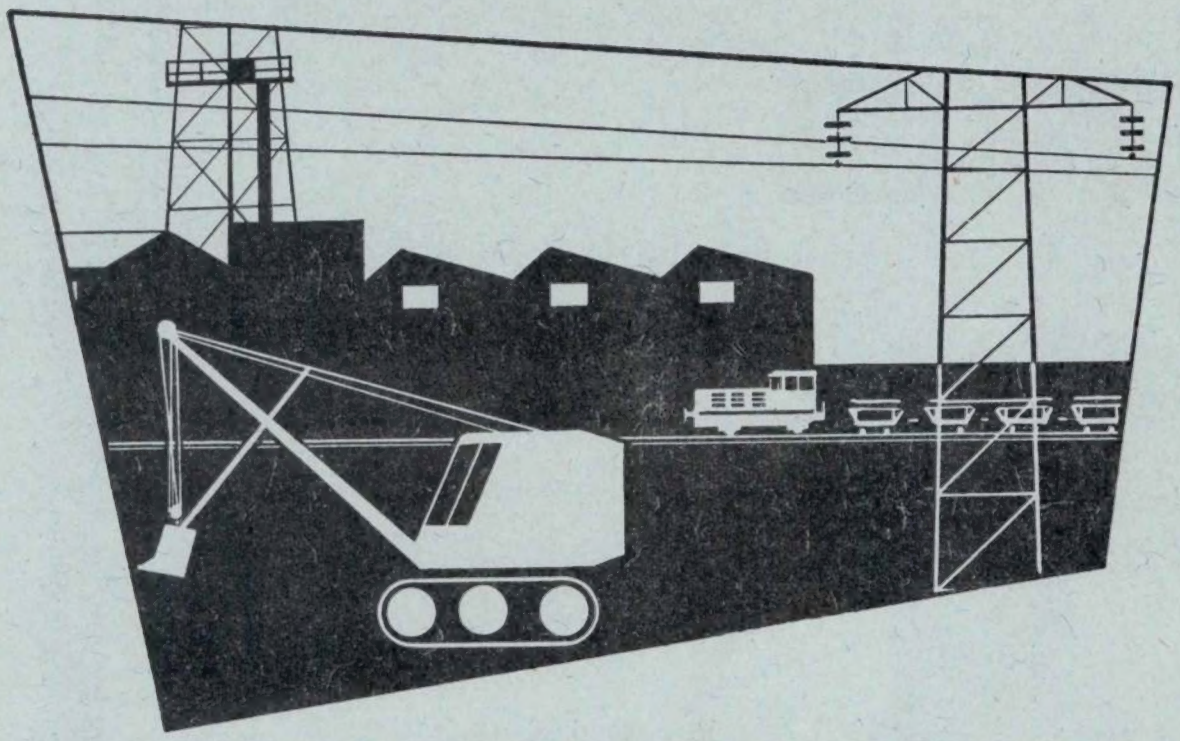
0 – 3 KW
0 – 6 »
0 – 12 »
0 – 30 »
0 – 60 »
0 – 120 »
0 – 300 »

REPRESENTANTES:

C. SANTOS, S. A. R. L.

29, AVENIDA DA LIBERDADE, 41 — LISBOA

DIVISÃO MARÍTIMA E INDUSTRIAL
AVENIDA DA LIBERDADE, 29-41 — LISBOA
160, RUA STA. CATARINA, 168 — PORTO



MERCEDES-BENZ

MOTORES INDUSTRIAIS DIESEL

MOTORES PARA TODAS AS APLICAÇÕES INDUSTRIAIS
FAMOSOS EM TODO O MUNDO PELA SUA GRANDE ROBUSTÊS. ECONOMIA
DE CONSUMO E FACILIDADE DE MANUTENÇÃO
MODELOS DESDE 15 A 2.500 H. P.

EM ARMAZÉM:

MODELO M B 841 B	25 H. P. — 1.000 R. P. M.
MODELO M 202 B	55 H. P. — 1.200 R. P. M.
MODELO M 203 B	90 H. P. — 1.200 R. P. M.
MODELO M 204 B	120 H. P. — 1.200 R. P. M.

OUTROS MODELOS PARA ENTREGA MUITO RÁPIDA

MOTORES A 4 TEMPOS · ARREFECIMENTO POR ÁGUA
ARRANQUE A AR COMPRIMIDO OU ELÉCTRICO

REPRESENTANTES **C. SANTOS, S. A. R. L.** — DIVISÃO MARÍTIMA E INDUSTRIAL

29, AV. DA LIBERDADE, 41 — LISBOA
160, R. DE S.TA CATARINA, 168 — PORTO

NOVOS COMPONENTES ELÉCTRICOS EM PARIS... MAS TAMBÉM EM PORTUGAL

Os mais recentes produtos da ITT são expostos na feira de componentes de Paris de 8 a 13 de Abril.

Convidamo-lo a visitar o pavilhão da ITT Standard :

É uma excelente ocasião para se inteirar dos múltiplos campos de aplicação que estes novos componentes oferecem.

Se não puder visitar Paris, será com prazer que lhe enviaremos informações sobre a nossa linha completa de componentes, que se estende desde os micro-módulos às válvulas gigantes de emissão.

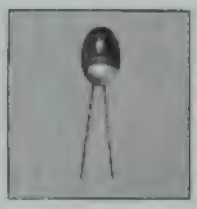
Consulte pois a :

Standard Eléctrica, em Lisboa

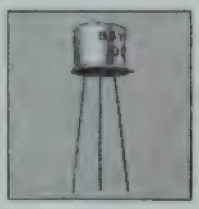
na Av. da India

ou pelo

Telefone 63.81.71.



Condensadores de tântalo miniatura.



Transistores planar epitaxiais.

Relés com contactos molhados por mercúrio.

Interruptores subminiatura.

Rectificadores de silício «Silring», incluindo o tipo avalanche de 1A e 5A.

Cinescópios (25 polegadas).

UMA ASSOCIADA DA ITT

Standard Electrica S.A.R.L.

O EMPREGO DO CIMENTO BRANCO...

permite acabamentos mais perfeitos, mais duradouros e muito mais económicos

Estude a vantagem do emprego do

CIMENTO BRANCO LUSO

Consulte os distribuidores gerais

No Sul: **SCIAL** — T. do Corpo Santo, 15 — Telef. 66 61 86 — Lisboa
No Norte: **SCIAL** — R. do Bonjardim, 205 — Telef. 2 5779 — Porto

CAVAN

SOCIEDADE PORTUGUESA

✱

POSTES DE BETÃO PARA LINHAS ELÉCTRICAS
MOSAICOS E AZULEJOS

COLUNAS PARA ILUMINAÇÃO PÚBLICA
MANILHAS PARA ESGOTOS

✱

RUA D. ESTEFÂNIA, 94-A
TELEF. 47812-50129
LISBOA

DELRIN®

Resinas de acetal

ZYTEL®

Resinas de nylon

TEFLON®

Resinas fluorcarbonetadas

ALATHON®

Resinas de polyetileno

LUCITE®

Resinas acrilicas

TYNEX®

Monofilamentos de nylon

BUTACITE®

Folhas de butyral polivinylicas

MATÉRIAS-PRIMAS PLÁSTICAS

DU PONT

COISAS MELHORES PARA VIVER MELHOR...
GRAÇAS A QUIMICA

Matérias-primas para:

MOLDAÇÃO: por compressão, injecção e sopro

EXTRUSÃO

Recobrimento de superficies metálicas, fios eléctricos e cabos, etc.

PEÇAS INDUSTRIAIS DE TODOS OS TIPOS

APARELHAGEM ELECTRO-DOMESTICA

CONSTRUÇÃO CIVIL

PARA MAIS COMPLETA INFORMAÇÃO CONSULTE OS SERVIÇOS TÉCNICOS DO:

DISTRIBUIDOR EM PORTUGAL

ANJOS PEREIRA & C.ª, L.DA

Rua D. João V, n.º 7, 1.º, Dt.º

Telex STAC LISBOA Tel. 684141

(R) MARCAS REGISTADAS DA DU PONT.

Celulite

ISOLAMENTO
TÉRMICO DAS
CONSTRUÇÕES

PAVIMENTOS
*
TECTOS
*
PAREDES
*
CÂMARAS
FRIGORÍFICAS
*
ISOLAMENTOS
INDUSTRIAIS

Terraços e pavimentos isolados com CELULITE no edifício da Comp.ª de Seguros Fidelidade — P. das Águas Livres — Lisboa

SETH, LDA. • RUA FILIPE FOLQUE, 10-1.° • TEL. 73 01 56 — LISBOA

Para impermeabilizar terraços,
paredes, fundações, etc.

COLAGEM DE
TACOS DE MADEIRA

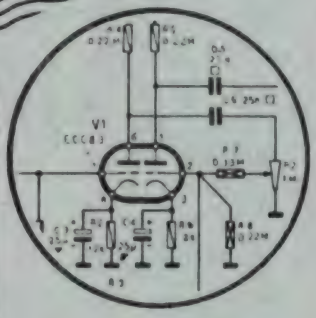
TELEF. 73 0156 TELEG. EPALDA — LISBOA

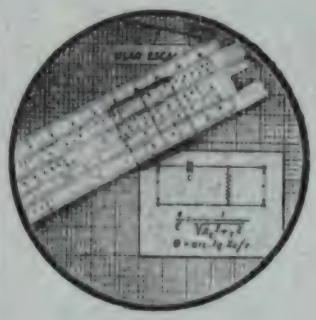
EMPREZA DE PRODUCTOS ASFÁLTICOS
IMPERMEABILISADOR
IMEPA
RUA FILIPE FOLQUE, 10-1.º-LISBOA

FÁBRICA EM SÁCAVÉM

EQUIPAMENTO DE AMPLIFICAÇÃO DE SOM

BEM CONCEBIDO BEM CALCULADO CONSTRUIDO





LESA

A grande marca italiana

Representantes em Portugal

TELECTRA

EMPRESA TÉCNICA DE EQUIPAMENTOS ELÉCTRICOS, S. A. R. L.

Rua Rodrigo da Fonseca, 103, r.c
LISBOA — Tel. 68 60 72

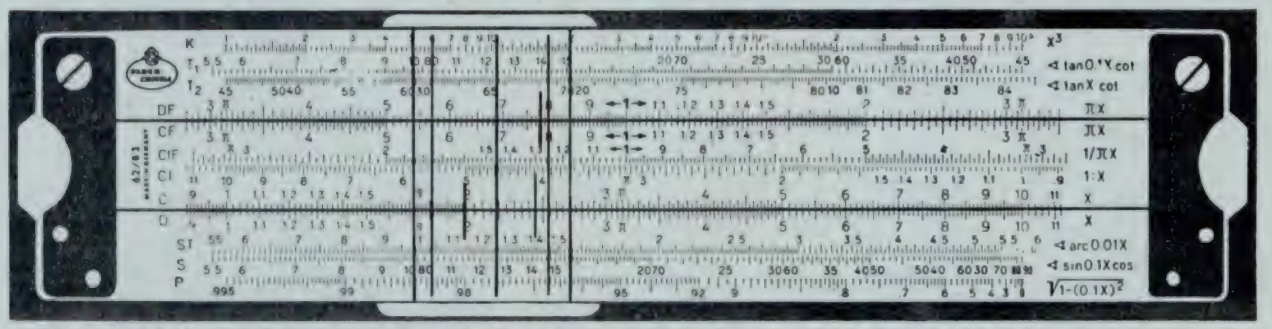
Rua Sá da Bandeira, 766-1.º E.
Tel. 2 48 18 — PORTO

Uma Régua de Cálculo de Bolso (escala de 12,5 cms), na qual se podem fazer múltiplos cálculos com a exactidão de uma régua de 25 cms.

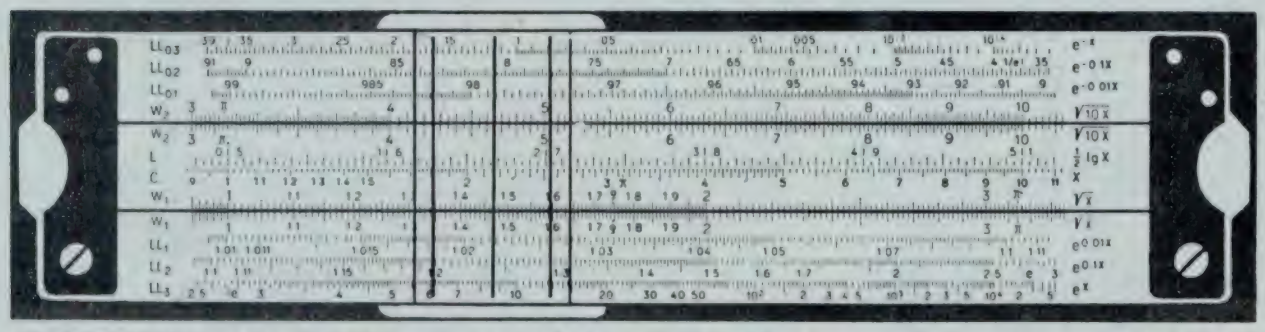
CASTELL-NOVO-BIPLEX 62/83

O mais moderno auxiliar para os seus estudos e para a sua profissão.

A novidade mais importante reside nas escalas de raízes W_1, W_1', W_2, W_2', que possibilitam uma exactidão de cálculo de 4 decimais, por ser interrompida a divisão em $\sqrt{10} = 3{,}16$ e repartida em dois pares de escalas.



Parte dianteira: Além da aprovada escala de T_2 para valores tangenciais e de ângulos malores do que 45°, temos ainda as escalas CF e DF e a escala recíproca CIF, todas deslocadas por π.



Parte trazeira: Seis escalas exponenciais para o cálculo com expoentes positivos e negativos, e uma escala elementar C que trabalha em conjunto com as escalas exponenciais. Com referência às escalas de raízes, esta escala elementar C exerce as funções de escala de quadrados.

A matéria plástica Geroplast da qual é feita a régua de cálculo, mantem-se inalterável em todos os climas, incluindo o clima tropical até 70° centígrados, não é inflamavel, é elástico e à prova de quebra. Desta maneira, Geroplast concentra em si todas as boas qualidades de um material plástico para uma régua de cálculo de alta qualidade.

Além: A CASTELL-NOVO-BIPLEX 2/83
Uma régua de 25 cms com a exactidão de uma régua de 50 cms.

A. W. FABER-CASTELL · STEIN BEI NÜRNBERG · ALLEMANHA

técnica

DIRECTOR: J. F. GOMES DE PINA

Ano XL — N.º 344 Janeiro de 1965

C. D. U. 621.373.51

OSCILADORES COM DÍODOS DE TÚNEL

Comunicação feita à Academia das Ciências na Reunião da Classe de Ciências de 21 de Janeiro de 1965

PELO PROF. ENG.º ANTÓNIO A. DE CARVALHO FERNANDES

SUMÁRIO

Este artigo trata de um assunto de Electrónica Aplicada em que se integram os princípios clássicos das oscilações eléctricas com as características de novos dispositivos electrónicos semicondutores.

O díodo de túnel é formado por materiais semicondutores e é baseado no fenómeno essencialmente quântico a que se dá o nome de «efeito de túnel». Apresenta características de resistência dinâmica negativa e de tempo de comutação extremamente curto, que tornam este dispositivo muito útil em circuitos de amplificação, de oscilação e de comutação, especialmente para frequências muito elevadas. Dando especial relevo aos conceitos de resistência dinâmica pontual e global e, definindo ainda a resistência dinâmica global relativa a uma dada harmónica, o problema da amplificação e da oscilação é tratado tendo em linha de conta a não-linearidade da característica do díodo de túnel. Circuitos teóricos e práticos de osciladores sinusoidais e osciladores de relaxação são analisados a partir das equações diferenciais não lineares que lhes dizem respeito e ainda a partir de circuitos equivalentes em que intervém o conceito de resistência dinâmica global relativa a uma harmónica.

1. CARACTERÍSTICA ESTÁTICA. CONDUTÂNCIA PONTUAL E CONDUTÂNCIA GLOBAL.

O dispositivo electrónico constituído por semicondutores que é designado por «díodo de túnel» ou «díodo Esaki» foi inventado em 1958 e é um díodo de junção em que se verifica o fenómeno essencialmente quântico a que se dá o nome de «efeito de túnel». Quer na região *p*, quer na região *n* deste díodo de junção, a concentração de «impurezas» (designamos por impurezas os elementos estranhos ao semicondutor intrínseco) é muito elevada pelo que se diz que se trata de material semicondutor degenerado. Na junção, a transição da região *p* para a região *n* é abrupta. Sob polarização inversa, dá-se uma emissão de electrões através da barreira de potencial da junção, pelo efeito de túnel, de que resultam correntes elevadas para tensões relativamente baixas, como se pode observar no gráfico da fig. 1 onde se representa a característica estática típica de um díodo de túnel.

A corrente resultante do efeito de túnel também se verifica para valores baixos da tensão de

polarização directa atingindo um máximo relativo após o qual a corrente diminui ràpidamente com o aumento da tensão numa zona de «resistência dinâmica negativa». No «vale» que esta característica apresenta, a corrente resultante do efeito de túnel é pequena; depois da região do vale, a corrente aumenta ràpidamente com a tensão. É ainda de notar que a «acção de túnel» que se dá nestes dispositivos electrónicos tem lugar a velocidades que se aproximam da velocidade da luz.

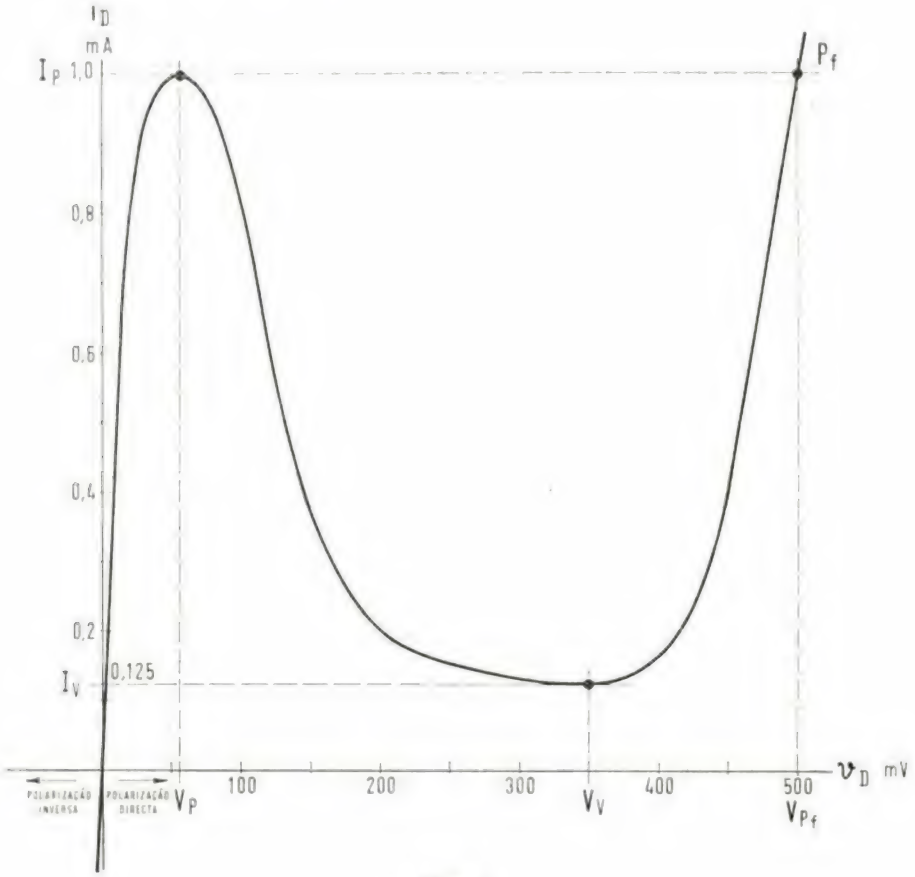


Fig. 1

Do ponto de vista das aplicações, as qualidades mais notáveis dos díodos de túnel são a zona de resistência dinâmica negativa na sua característica e o tempo de comutação extremamente curto — que chega a ser da ordem dos micro-microsegundos. Estas qualidades tornam o díodo de túnel um dispositivo muito útil em circuitos de comutação, de amplificação e de oscilação para frequências muito elevadas.

Juntamente com a característica estática, desenhada a traço cheio, representamos na fig. 2 uma idealização dessa característica no sentido de ser formada por uma linha quebrada; em pormenor, a zona de resistência dinâmica negativa é, na característica idealizada, um segmento de recta.

Convém desde já que se definam os conceitos de resistência dinâmica (e condutância dinâmica), respectivamente «pontual» e «global», e para isso vamos referir-nos ao gráfico da fig. 3. A condutância dinâmica pontual é a derivada $\frac{di_D}{dv_D}$ no ponto respectivo; a condutância dinâmica global é o quociente das variações finitas $\frac{\Delta i_D}{\Delta v_D}$ e será, em geral, uma função não só do ponto médio, mas também da amplitude dessas variações.

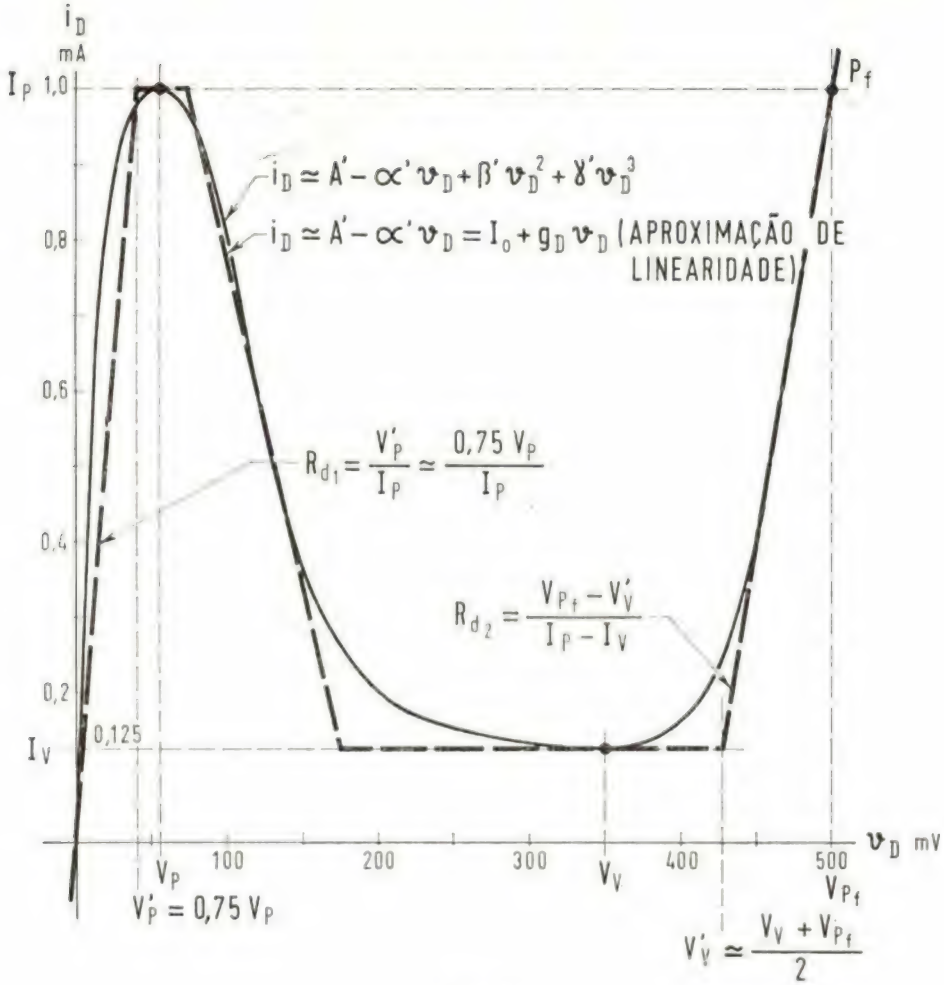


Fig. 2

Na figura 3 representamos o gráfico da variação de g_D em função do ponto de funcionamento Exemplificamos, ainda, o conceito de resistência dinâmica global para dois casos A e B, um relativo a variações de pequena amplitude e outro a variações de grande amplitude. No caso A, relativo a sinais fracos, será

$$g_D = \frac{di_D}{dv_D} \simeq \frac{\Delta i_D}{\Delta v_D} = \bar{g}_D \tag{1}$$

$$R_D \simeq \bar{R}_D \,. \tag{2}$$

Isto equivale a admitir a aproximação de ser quase linear a característica do díodo de túnel na zona muito curta em que tem lugar o funcionamento.

2. CIRCUITO DE AMPLIFICAÇÃO. APROXIMAÇÃO DE QUASE LINEARIDADE.

Ao estudarmos as aplicações do díodo de túnel, preocupamo-nos, em primeiro lugar, com a sua utilização como «elemento activo» em circuitos de amplificação e para ilustrar a sua função amplificadora consideremos um circuito segundo o esquema da fig. 4 em que o díodo de túnel está em série com a resistência de carga R_L; em série, ainda, está a fonte de sinal de tensão v_s e uma fonte de tensão contínua V_B que assegura a polarização conveniente do díodo de túnel.

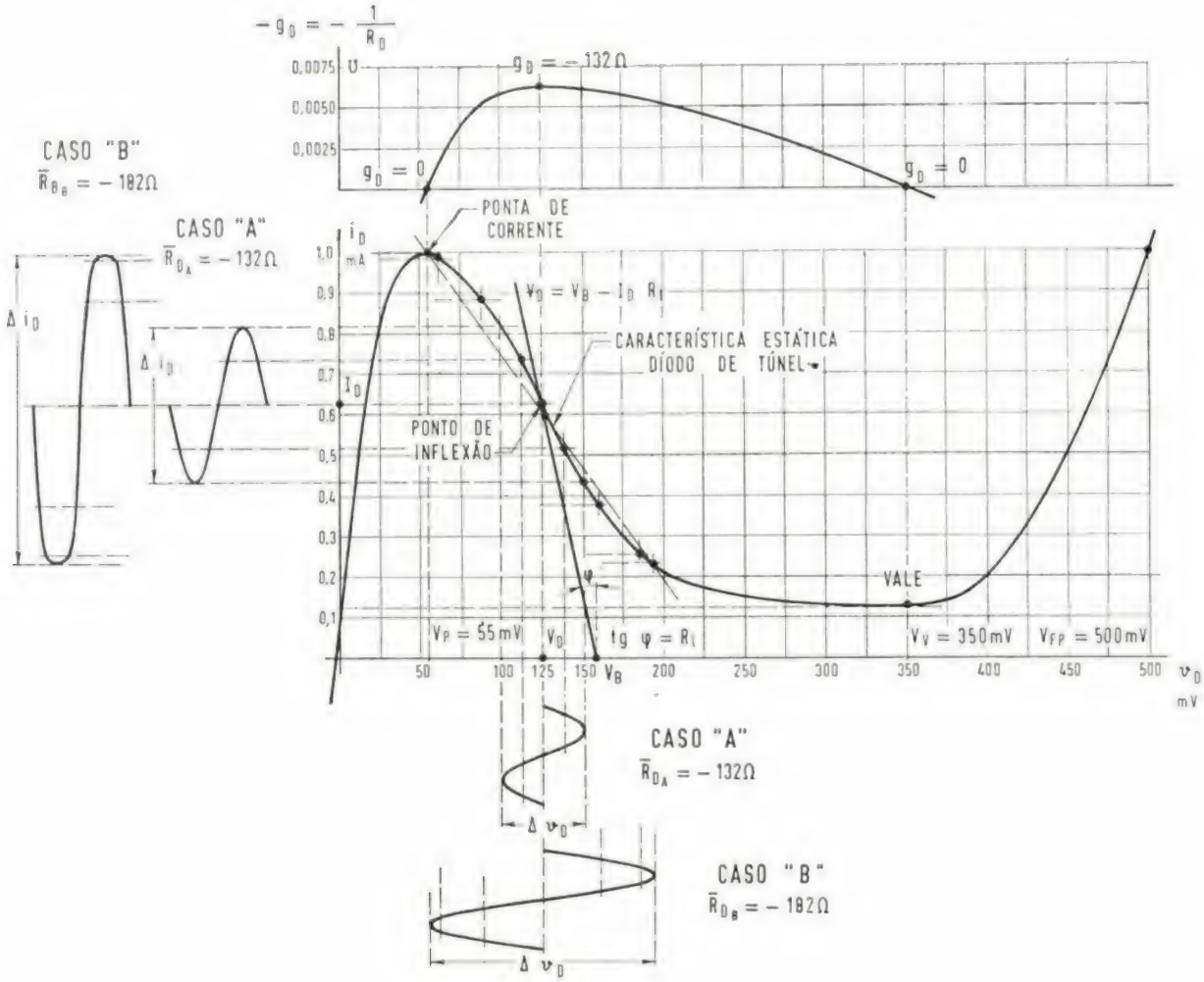


Fig. 3

Se admitirmos que na zona de resistência dinâmica negativa a característica é rectilínea, como se representa a traço interrompido no gráfico da fig. 2, a equação correspondente será

$$i_D = A' - \alpha' v_D = I_o + g_D v_D \,. \tag{3}$$

Estudando o circuito da fig. 4, dentro desta aproximação de linearidade, chegamos às conclusões indicadas a seguir

$$v_s = V_m \text{ sen } \omega t \tag{4}$$

$$i_D = I_D + i_d \qquad I_D = \frac{V_B + I_o R_D}{R_L + R_D} \qquad i_d = \frac{V_m}{R_L + R_D} \text{sen } \omega t \tag{5, a, b, c}$$

$$v_R = V_R + v_r \qquad V_R = I_D R_L \qquad v_r = \frac{V_m R_L}{R_L + R_D} \text{sen } \omega t \tag{6, a, b, c}$$

$$v_D = V_D + v_d \qquad V_D = V_B - I_D R_L \qquad v_d = \frac{V_m R_D}{R_L + R_D} \text{sen } \omega t \tag{7, a, b, c}$$

Como vemos, a corrente no circuito e as quedas de tensão, no díodo de túnel e na resistência de carga, são dadas por somas de um termo constante e de um termo variável. Admitindo linearidade, a componente variável terá a mesma forma do sinal de entrada que supuzemos sinusoidal.

Comparando os valores instantâneos da tensão de entrada e da componente variável da tensão aos terminais da carga, dados, respectivamente, por (4) e por (6c) chegamos ao conceito de ganho ou amplificação de tensão, definido por

$$K = \frac{v_r}{v_s} = \frac{R_L}{R_L + R_D}. \qquad (8)$$

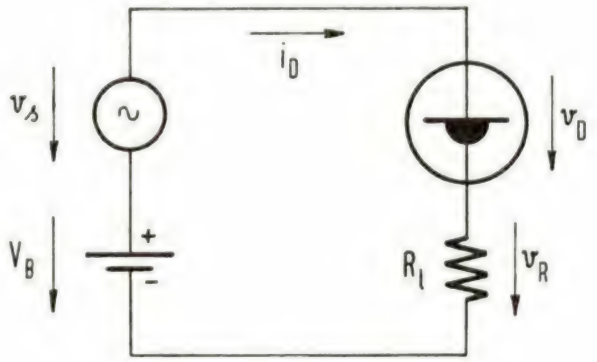


Fig. 4

Como a resistência R_D é negativa, o ganho K tem o módulo superior à unidade e será tanto maior quanto mais $|R_D|$ se aproximar de R_L.

Se compararmos os valores instantâneos das componentes variáveis da tensão aos terminais do díodo de túnel v_d e da corrente i_d, dados, respectivamente, por (7c) e por (5c), concluimos que será

$$R_D = \frac{v_d}{i_d} = \frac{\Delta v_D}{\Delta i_D} = \overline{R}_D. \qquad (9)$$

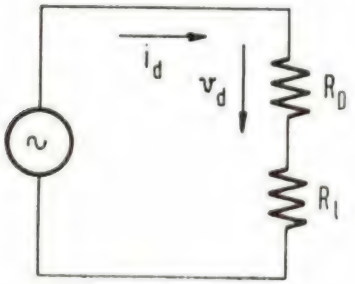


Fig. 5

Isto significa que, admitindo linearidade, os conceitos de resistência dinâmica pontual e de resistência dinâmica global coincidem, como seria de esperar. Nestas condições o díodo será, do ponto de vista dinâmico, equivalente à resistência R_D. O esquema equivalente, em C.A., do circuito dado, representa-se na fig. 5.

Este circuito será, contudo, válido apenas para variações de tensão e de corrente com frequência muito baixa. Para frequências elevadas, precisaremos de ter em conta os efeitos reactivos do circuito e, nomeadamente, a capacidade da junção C_D do díodo que nos aparecerá em derivação com R_D. Haverá ainda que ter em linha de conta os efeitos parasitas de resistência e auto-indução no corpo do díodo, no invólucro e nas ligações, e estes efeitos podem ser traduzidos por uma resistência R_s e uma auto-indução L_s em série com a associação $R_D \| C_D$ como se representa no esquema da fig. 6 que será afinal o circuito equivalente, do ponto de vista dinâmico, do díodo de túnel. É este circuito equivalente que deve utilizar-se quando se tratar de frequências elevadas.

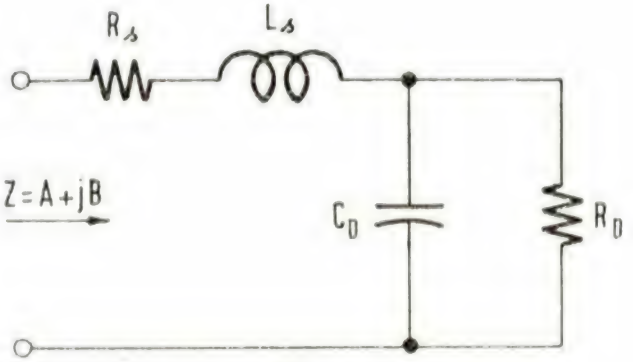


Fig. 6

3. CIRCUITO DE AMPLIFICAÇÃO. CASO DE NÃO-LINEARIDADE. CONDUTÂNCIA DINÂMICA GLOBAL RELATIVA A UMA HARMÓNICA.

Meditemos agora sobre o caso de não haver linearidade na característica do díodo. Neste caso, os valores instantâneos totais, i_D e v_D, podem considerar-se relacionados pela equação

$$i_D = A' - \alpha' v_D + \beta' v_D^2 + \gamma' v_D^3 \tag{10}$$

e, pràticamente, o circuito deixará de ser linear. Isto significa que se a componente variável v_d da tensão v_D aos terminais do díodo fosse sinusoidal, de frequência angular ω, a corrente i_d não seria sinusoidal e a sua representação em série de Fourier apresentaria, além de um termo constante, uma componente alternada da frequência angular fundamental ω e um número infinito de componentes harmónicas de frequências angulares 2ω, 3ω, etc.

Em relação ao circuito de amplificação da fig. 4, o problema seria relativamente complicado pois que, se v_s fosse alternada sinusoidal, a corrente i_d apresentaria harmónicas em virtude da não-linearidade do díodo de túnel, a tensão v_r teria a mesma forma de i_d (por ser $v_r = i_d R_L$) e a tensão v_d apresentaria as mesmas harmónicas que v_r mas com sinal contrário. Em relação à forma sinusoidal do sinal de entrada, haveria distorção de não-linearidade na corrente e nas tensões aos terminais do díodo e da resistência de carga.

Se, contudo, em vez de R_L tivéssemos, como circuito de carga, um circuito de ressonância em paralelo, sintonizado para a frequência angular ω, e com um factor de qualidade elevado, a tensão aos terminais da carga seria sinusoidal mesmo que a corrente o não fosse. Nesse caso, sendo v_s sinusoidal, também v_d seria sinusoidal. Esta circunstância verifica-se em circuitos de oscilação, como veremos mais adiante.

No caso B ilustrado na fig. 3, a uma variação sinusoidal da tensão corresponde uma variação na corrente que já não é sinusoidal. O grau de distorção não-linear que afecta a componente variável i_d poderia ser fàcilmente determinado, fazendo a representação desta função em série de Fourier. Designemos por I_{1dm}, I_{2dm}, etc., as amplitudes, respectivamente, da harmónica fundamental, da 2.ª harmónica, etc., nesta série. Os conceitos de resistência e de condutância dinâmicas globais podem agora ser particularizados para significar, por exemplo, a relação em que consideramos uma variação sinusoidal da tensão (representada pela sua amplitude V_{dm}) e uma variação da corrente traduzida pela variação sinusoidal da harmónica fundamental (representada por I_{1dm}). Podemos assim definir uma condutância dinâmica global relativa à 1.ª harmónica; e, anàlogamente, para a segunda harmónica, etc., como se representa nas equações

$$\bar{g}_{D_1} = -\frac{I_{1dm}}{V_{dm}} \tag{11}$$

$$\bar{g}_{D_2} = -\frac{I_{2dm}}{V_{dm}} \; . \tag{12}$$

O sinal (—) resulta da oposição de fase entre a tensão e a corrente.

Nestas condições, poderíamos traçar circuitos equivalentes relativos, por exemplo, à harmónica fundamental ou à segunda harmónica, etc. e, nesses casos, em vez do parâmetro R_D no esquema da fig. 6 teríamos $\bar{R}_{D_1}$, $\bar{R}_{D_2}$, etc.

Este conceito, de condutância global relativa a uma dada harmónica, tem especial interesse na utilização do díodo de túnel em circuitos de multiplicação de frequência.

4. CIRCUITO EQUIVALENTE. FREQUENCIA DE RESSONANCIA. FREQUÊNCIA DE CORTE.

O circuito equivalente do díodo de túnel está representado na fig. 6, onde, em vez do parâmetro R_D, poderíamos ter $\bar{R}_D$ ou ainda $\bar{R}_{D_1}$, R_{D_2}, etc., nas circunstâncias a que nos referimos. Em relação a este circuito haverá que notar que não só a resistência dinâmica depende do ponto de funcionamento e da amplitude do sinal; também a capacidade da junção, C_D, dependerá, embora em menor grau, dessas mesmas variáveis. Ambos os parâmetros dependem ainda da temperatura.

Se admitirmos a hipótese de quase linearidade, a que nos referimos, e se aplicarmos ao circuito equivalente da fig. 6 uma tensão alternada sinusoidal de frequência angular ω, a impedância Z oferecida pelo circuito, em regime permanente, poderá escrever-se sob a forma

$$Z = A + j\,B\,. \tag{13}$$

A condição $B = 0$, isto é, a condição de ressonância, é satisfeita para uma frequência f_r dada pela expressão

$$f_r = \frac{1}{2\pi C_D\,|\,R_D\,|}\sqrt{\frac{C_D R_D^2 - L_s}{L_s}}\,. \tag{14}$$

A condição $A = 0$ exprime a transição da faixa de frequências em que a componente resistiva da impedância é negativa para a faixa em que é positiva.

Por ser

$$A = R_s + \frac{R_D}{\omega_C^2 C_D^2 R_D^2 + 1} \tag{15}$$

será, para $A = 0$,

$$f = f_C = \frac{1}{2\pi C_D\,|\,R_D\,|}\sqrt{\frac{-R_D - R_s}{R_s}}\,. \tag{16}$$

Isto quer dizer que, para $f < f_C$, o díodo de túnel poderá funcionar como elemento activo; para $f > f_C$ deixará de ser um elemento activo. Por isso a f_C se dá a designação de «frequência de corte».

Na prática, os díodos de túnel mais correntes têm frequências de corte da ordem de 1kMc/s. Tem sido possível, contudo, nalguns casos, obter díodos de túnel com frequências de corte da ordem de 100 kMc/s.

A expressão (15) da componente resistiva da impedância dá-nos o que poderemos chamar a «resistência negativa efectiva» do díodo de túnel e mostra-nos a sua dependência com a frequência.

O circuito equivalente do díodo de túnel, da fig. 6, mostra ainda que, em determinadas condições, se pode tornar um circuito oscilante. Este facto representa uma vantagem na utilização do díodo de túnel em osciladores, mas pode constituir um inconveniente sério ao utilizar o díodo de túnel em amplificadores. As condições de ganho e de estabilidade devem pois ser analisadas com o maior cuidado.

5. CIRCUITO OSCILANTE CLÁSSICO. OSCILAÇÕES SINUSOIDAIS E DE RELAXAÇÃO.

Vejamos agora o comportamento de um circuito oscilante clássico, utilizando um díodo de túnel como elemento activo, segundo o esquema da fig. 7, e incluindo um circuito de ressonância LC, que supomos sem perdas, em paralelo com uma resistência $R = {}^1/_G$ que traduz todas as perdas no circuito; em paralelo, ainda, um díodo de túnel (com o seu sistema de polarização representado pela bateria de tensão contínua V_B).

Neste esquema, consideramos que o díodo de túnel tem uma característica estática tensão-corrente segundo o gráfico da fig. 1 e admitimos que os efeitos reactivos que possa apresentar estão já tomados em consideração nos valores de L e C do circuito de ressonância.

Admitindo que a lei de variação de i_D com v é traduzida pela equação

$$i_D = F(v) = A - \alpha v + \beta v^2 + \gamma v^3 \tag{17}$$

em que se pode considerar $\beta \simeq 0$, conclui-se, a partir das leis fundamentais do Electromagnetismo,

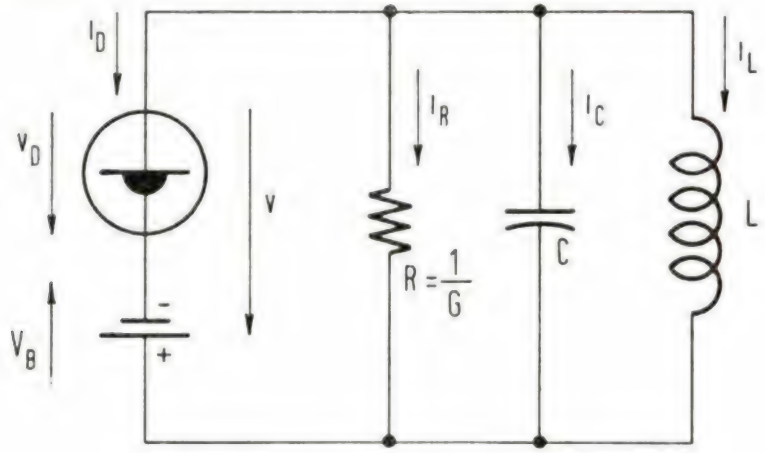


Fig. 7

que a equação de valores instantâneos que traduz o comportamento do sistema é a equação diferencial não linear

$$C \frac{d^2 v}{dt^2} + \frac{d}{dt}\left[(G - \alpha)\, v + \gamma\, v^3\right] + \frac{v}{L} = 0\,. \tag{18}$$

Se definirmos os parâmetros

$$G - \alpha = - C\,\alpha \tag{19}$$

$$\gamma = C\,\frac{\gamma_1}{3} \tag{20}$$

$$\frac{1}{LC} = \omega_0^2 \tag{21}$$

$$\varepsilon = \frac{\alpha_1}{\omega_0} = (\alpha - G)\sqrt{\frac{L}{C}} \tag{22}$$

e fizermos as mudanças de variável

$$\omega_0 t = \tau \tag{23}$$

$$v = \sqrt{\frac{\alpha_1}{\gamma_1}}\; y \tag{24}$$

a equação (18) toma o aspecto

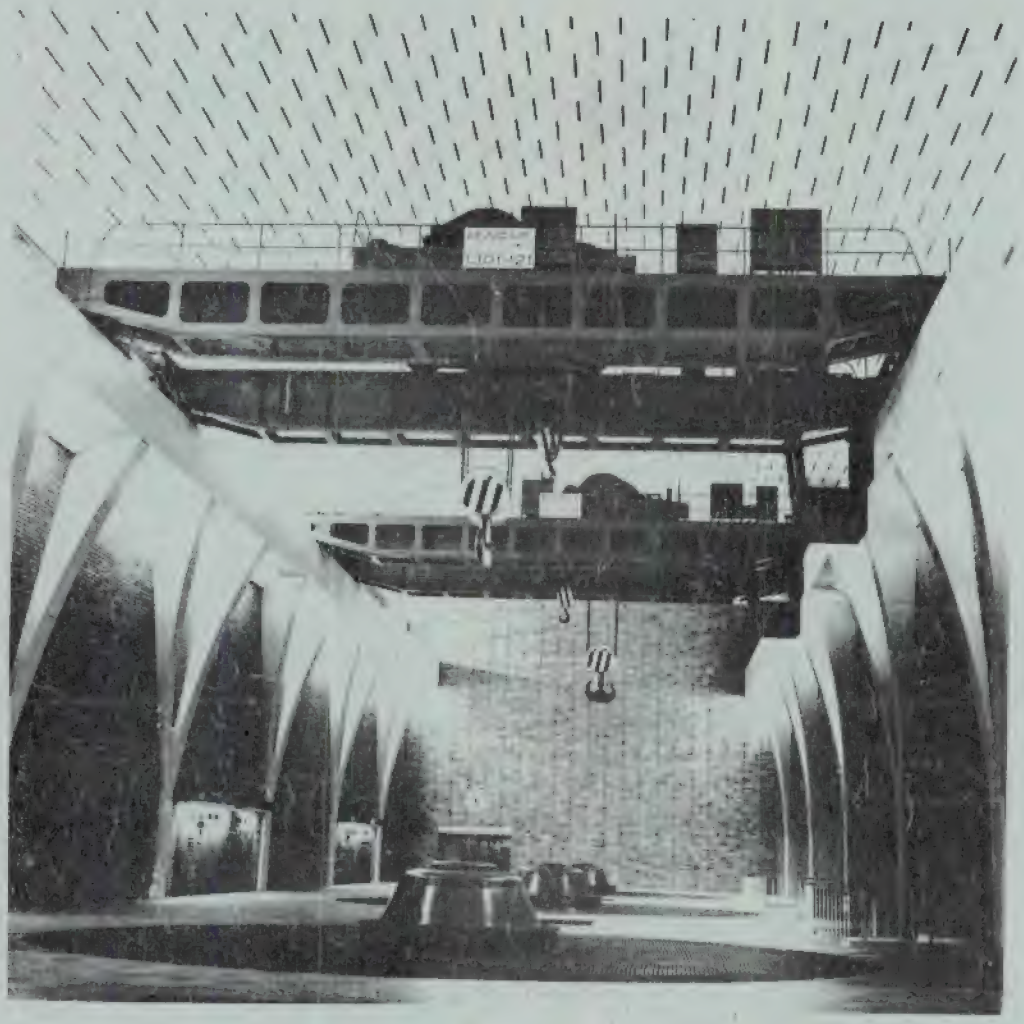
$$\frac{d^2 y}{d\tau^2} - \varepsilon\,(1 - y^2)\,\frac{dy}{d\tau} + y = 0. \tag{25}$$

Trata-se da chamada equação de Van der Pol, apresentada [1] em 1934 e que se aplica a uma grande variedade de sistemas oscilantes.

---

[1] V. artigo «The Nonlinear Theory of Electric Oscillations», Proc. I.R.E., 22, 1051-1086, 1934.

MAGUE



PONTES ROLANTES "MAGUE" DE 130 t 15,1 m

Central de Miranda (H.E.D.)

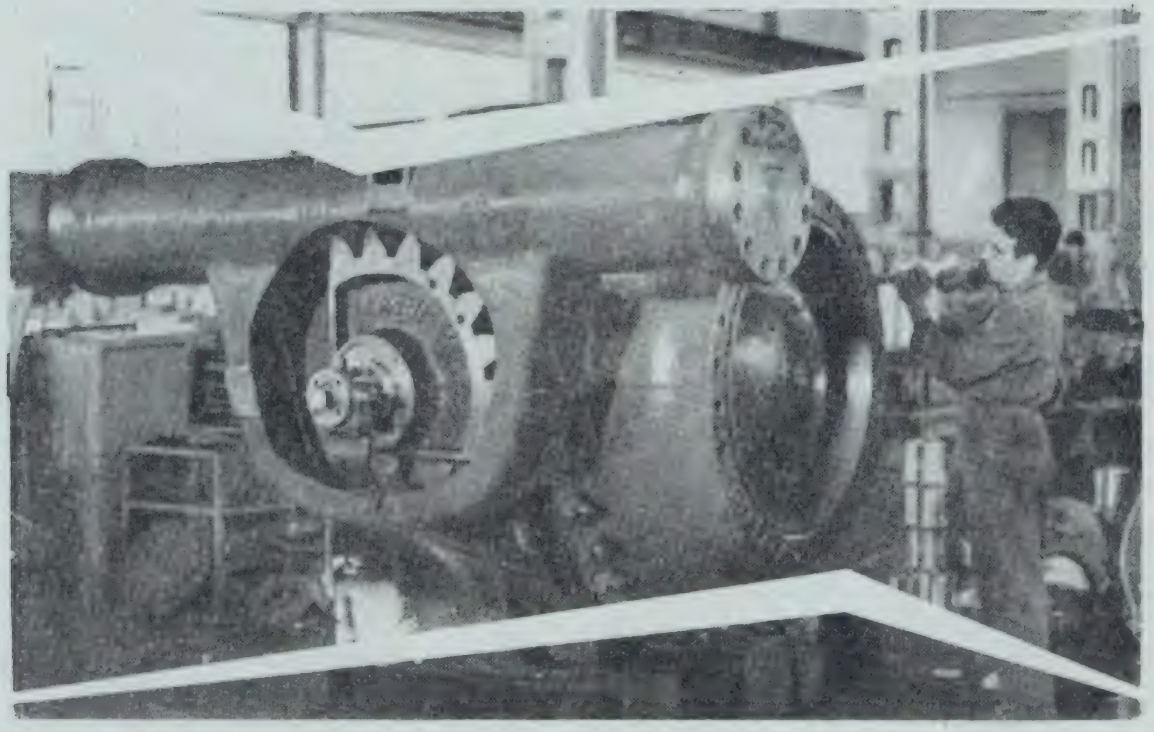
PONTES ROLANTES —— *Projecto e fabrico*
GUINDASTES —— *Projecto e fabrico*
APAR. DE ELEVAÇÃO ESPECIAIS — *Projecto e fabrico*
TURBINAS HIDRÁULICAS —— *Fabrico segundo licença de A. C. M. de Vevey*
TURBINAS A VAPOR —— *Fabrico segundo licença de Brown Boveri, Cie*
EQUIPAMENTOS INDUSTRIAIS

CONSTRUÇÕES METALOMECANICAS **MAGUE** S.A.R.L

ALVERCA DO RIBATEJO — PORTUGAL

aços vazados
ferros meehanite
mecânica MÉDIA E PESADA
construções metálicas

COMPORTAS
TURBINAS
CONDUTAS FORÇADAS
RESERVATÓRIOS SOB PRESSÃO
PERMUTADORES DE CALOR



Centrais Hidráulicas
Válvula Esférica para Lomaum

DMM

DIVISÃO METALO-MECÂNICA
COMPANHIA UNIÃO FABRIL

AVENIDA 24 DE JULHO, 170 — LISBOA 2 ✦ TELEFONES 67 04 21 E 67 20 61 ✦ TELEGRAMAS: METALOFABRIL

De facto, esta equação pode deduzir-se a partir da equação fundamental

$$m \frac{d^2x}{dt^2} + \left[-A + B \left(\frac{dx}{dt} \right)^2 \right] \frac{dx}{dt} + kx = 0 \tag{26}$$

devida a Rayleigh e apresentada em 1883 ([1]).

As duas equações (25) e (26) são casos particulares da equação mais geral

$$\frac{d^2x}{dt^2} + \omega^2 x + \varepsilon f \left(x, \frac{dx}{dt}, t, \varepsilon \right) = 0 \tag{27}$$

apresentada por Kryloff e Bogoliuboff ([2]).

A equação clássica de Van der Pol está estudada na literatura ([3]) e a sua integração tem interesse para os casos típicos do parâmetro ε, referidos a seguir.

No caso de ser

$$0 < \varepsilon \ll 1 \tag{28}$$

a equação pode resolver-se analìticamente, concluindo-se que tem como solução aproximada

$$y = \frac{A_0 \, e^{\frac{1}{2} \varepsilon \tau} \operatorname{sen} (\tau + \varphi_0)}{\left[1 + \frac{1}{4} A_0^2 (e^{\varepsilon \tau} - 1) \right]^{1/2}} . \tag{29}$$ ([4])

Daqui se conclui que, quando $\tau \to \infty$, o regime permanente do circuito corresponde à equação

$$y = 2 \operatorname{sen} (\tau + \varphi_0) . \tag{30}$$

Tendo (23) em consideração poderemos escrever

$$y = 2 \operatorname{sen} (\omega_0 t + \varphi_0) \tag{31}$$

o que mostra que, em regime permanente, o circuito oscila com a frequência angular própria do circuito LC sem perdas.

A equação (29) corresponde à representação gráfica da fig. 8 para o caso de ser $\varepsilon = 0{,}1$. Deve reparar-se que há um intervalo de tempo inicial para o crescimento e estabilização das oscilações.

Quando $\varepsilon > 0{,}25$ a equação (29) deixa de ser suficientemente aproximada. A integração de (25) pode então fazer-se por métodos gráficos ([5]) ou numéricos e nas figs. 9 e 10 representa-se a variação de y com $\tau = \omega_0 t$ respectivamente para $\varepsilon = 1$ e $\varepsilon = 10$ ([6])

Tendo em vista as equações referidas, a equação (31) pode escrever-se

$$v = \frac{2\sqrt{3}}{3} \sqrt{\frac{\alpha - G}{\gamma}} \operatorname{sen} (\omega_0 t + \varphi_0) \tag{32}$$

([1]) No seu trabalho clássico «On Maintained Vibrations», Phil. Mag. S.5, 15, 1883.

([2]) Na Obra «Introduction to Non-Linear Mechanics», traduzida por Lefschetz e editada pela «Princeton University Press», em 1947.

([3]) V. por exemplo, «Ordinary Non-Linear Differencial Equations in Engineering and Physical Sciences», por N. W. MacLachlan, «Oxford At The Clarendon Press», 1956.

([4]) Eq. (15), § 5, 11, Pág. 90 da obra citada.

([5]) V. §§ 8.12 a 8,15, Págs. 148 a 154, da obra citada de N. W. MacLachlan.

([6]) V. ainda figs. 35 a 37, página X–51, § 10.11, Cap. X e § 17.8.3, Cap. VII de «Electrónica Aplicada», do Autor

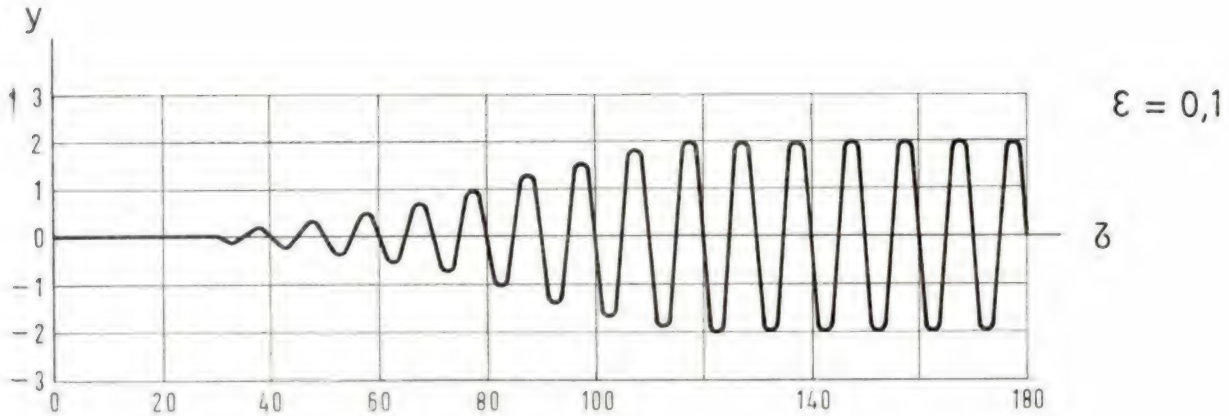


Fig. 8

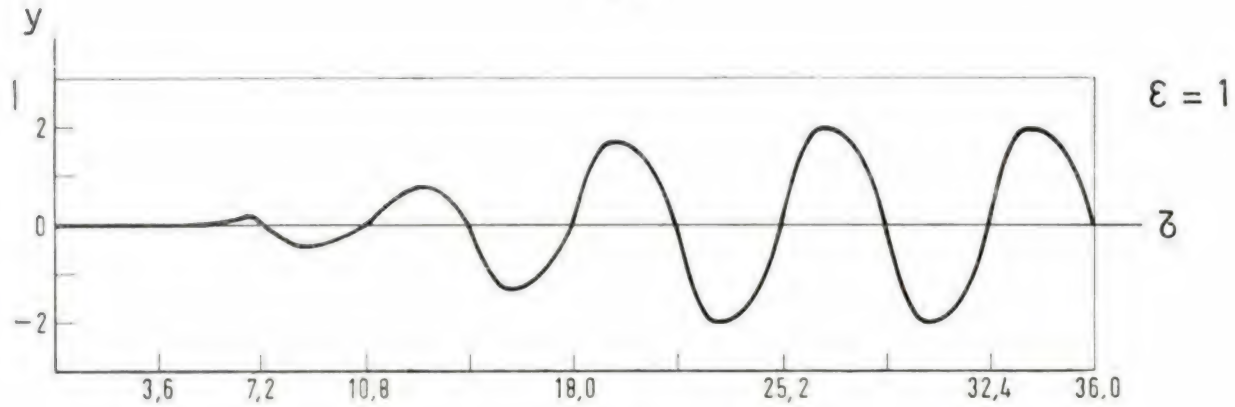


Fig. 9

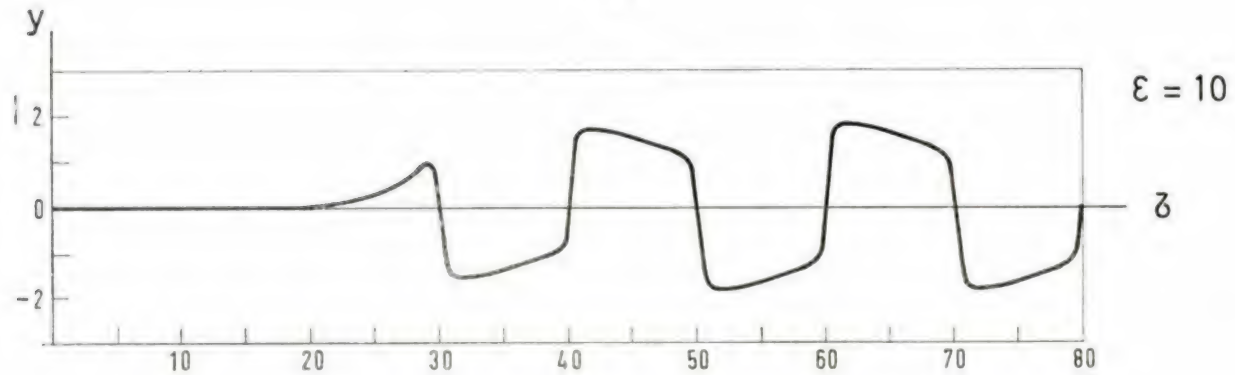


Fig. 10

de onde se pode concluir que a amplitude das oscilações é limitada por γ, ou seja, pela não-linearidade da característica do díodo de túnel.

A observação das figs. 8, 9 e 10 mostra que existe uma mudança gradual à medida que aumenta ε; para $\varepsilon \ll 1$ têm lugar oscilações sinusoidais; para $\varepsilon \gg 1$, oscilações periódicas, de relaxação.

Contràriamente ao caso de $\varepsilon \ll 1$ em que o processo de formação e estabelecimento das oscilações requere um intervalo de tempo igual a um grande número de períodos, as oscilações de relaxação, para $\varepsilon \gg 1$, atingem a amplitude do seu regime permanente depois de, apenas, uma oscilação. Verifica-se ainda, neste caso, que a forma se afasta nìtidamente da sinusoide, devendo reparar-se que a curva é caracterizada por subidas e descidas bruscas de y no princípio e no fim de cada meio

período, seguidas, respectivamente, de uma descida e de uma subida lentas nas zonas intermédias. A existência destes dois estados típicos diferentes no processo de oscilação caracteriza os osciladores de relaxação: uma variação lenta de energia do sistema e uma descarga subsequente que ocorre, quase instantâneamente, depois de se atingir um certo valor crítico para a tensão em jogo.

Se concentrarmos a nossa atenção no caso de as oscilações serem sinusoidais, de amplitude constante, em regime permante, podemos pensar que o estudo do circuito poderia ser feito por meio do circuito equivalente do díodo de túnel. Com efeito, se assim fizéssemos, teríamos que o díodo de túnel poderia, do ponto de vista dinâmico, ser substituído pelo conjunto de R_D e C_D em paralelo, (desprezando-se R_s e L_s). Admitindo que C_D está incluído na capacidade do circuito L C, tudo se passava como se este circuito, sem perdas, estivesse em paralelo com uma reistência

$$R_{eq} = \frac{R_D \cdot R}{R_D + R} \,. \tag{33}$$

Para termos oscilações estáveis, será preciso que $|R_D| = R$ pois que será então $R_{eq} = \infty$. E o que sucede no estabelecimento das oscilações? No começo, a amplitude é muito pequena e a resistência dinâmica é a resistência dinâmica pontual R_D. Será então $|R_D| < R$ e a resistência equivalente R_{eq} será negativa. Isto significa, fìsicamente, que se fornece energia ao sistema e as oscilações aumentarão gradualmente de amplitude. À medida que isto se verifica, entra em jogo a resistência dinâmica global, cujo módulo vai aumentando em virtude da não-linearidade da característica, até se atingir condição de ser $|\overline{R}_D| = R$ que corresponde a oscilações de amplitude constante.

Novamente encontramos a não-linearidade da característica a limitar a amplitude das oscilações e a estabilizá-las.

6. OSCILADORES SINUSOIDAIS COM DÍODOS DE TÚNEL.

Do que acabamos de ver se conclui que o estudo prático dos circuitos de osciladores sinusoidais pode fazer-se com simplicidade, utilizando o circuito equivalente do díodo de túnel que representamos na fig. 6 e tendo em consideração o significado do parâmetro R_D, ou $\overline{R}_D$ ou ainda $\overline{R}_{D_1}$, conforme as condições de funcionamento.

Vejamos agora um circuito prático de um oscilador como se representa na fig. 11.

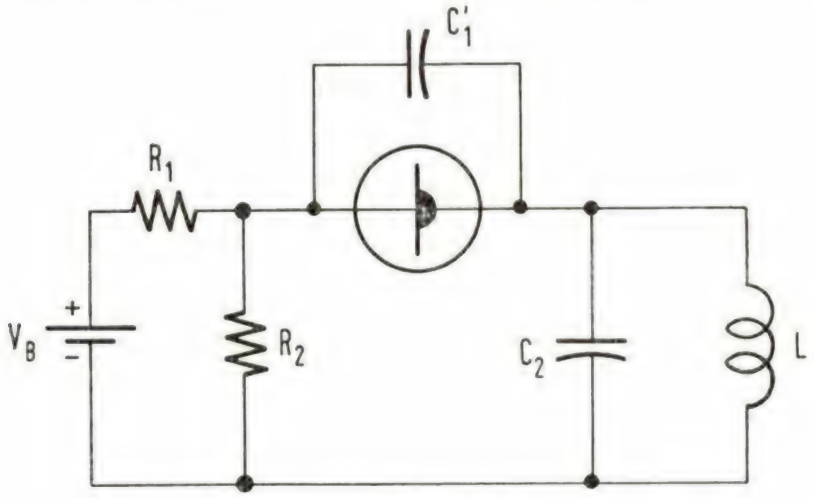


Fig. 11

Neste circuito, as resistências R_1 e R_2 formam um divisor de tensão para estabelecer o valor

conveniente da tensão de polarização. A capacidade C'_1 deve ser francamente superior a C_D para que, no conjunto, as variações de C_D (devidas a variações na polarização e na temperatura) tenham uma pequena importância relativa. A bobina L e o condensador C_2 formam um circuito de ressonância em paralelo. Analisemos este circuito e, para isso, tracemos o esquema equivalente, admitido que R_s e L_s no díodo de túnel se podem desprezar. Consideramos ainda desprezável a resistência óhmica da bobina de auto-indução L. A impedância em série do conjunto representado no esquema da fig. 12 será

$$Z = R + \frac{R_D}{1 + \omega^2 C_1^2 \overline{R}_D^2} - \frac{j\omega C_1 \overline{R}_D^2}{1 + \omega^2 C_1^2 \overline{R}_D^2} + \frac{j\omega L}{1 - \omega^2 L C_2} \tag{34}$$

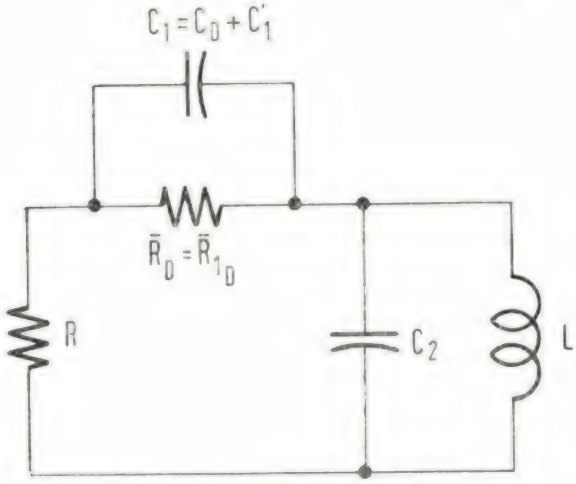


Fig. 12

As condições para que este circuito seja um circuito oscilante sem perdas são as seguintes:

$$R = \frac{-\overline{R}_D}{1 + \omega^2 C_1^2 \overline{R}_D^2} \tag{35}$$

$$\frac{C_1 \overline{R}_D^2}{1 + \omega^2 C_1^2 \overline{R}_D^2} = \frac{L}{1 - \omega^2 L C_2}. \tag{36}$$

A condição (35) significa que R deverá ser igual ao módulo da resistência negativa efectiva do díodo de túnel (no caso de ter C_1 em derivação). A condição (36) indica-nos a frequência de oscilação que será dada pela expressão (37); por aqui se vê que esta frequência depende essencialmente dos parâmetros do circuito tanque e do condensador C_1' em paralelo com o díodo de túnel.

$$f = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{1}{L(C_1 + C_2)} - \frac{1}{\overline{R}_D^2 C_1 (C_1 + C_2)}} \tag{37}$$

Circuitos práticos [1] de osciladores com díodo de túnel, para as frequências de 100 kc/s e 100 Mc/s, estão representados nos esquemas das figs. 13 e 14, respectivamente. O circuito para

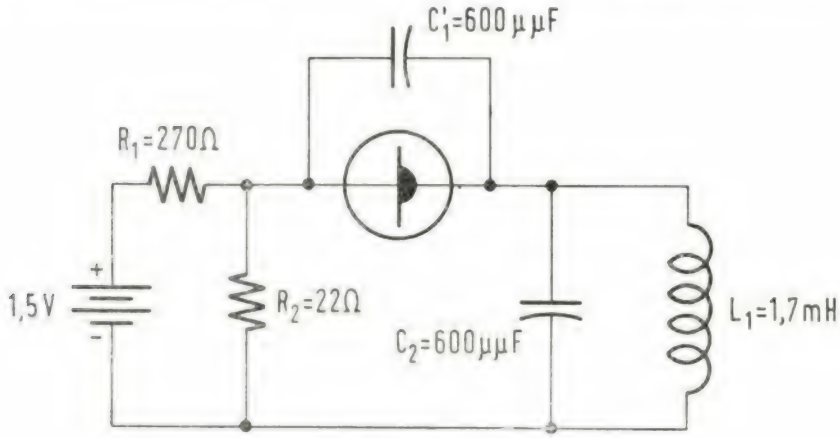


Fig. 13

[1] Trata-se de circuitos apresentados na obra «Basic Theory and Application of Tunnel Diodes», por S. P. Gentile, editada por D. Van Nostrand Co., Inc., de Princeton.

100 kc/s corresponde inteiramente ao esquema da fig. 13. No circuito de 100 Mc/s, se ligássemos um condensador em paralelo com o díodo de túnel a sua resistência negativa efectiva seria muito pequena e não seria possível satisfazer a condição (35). A presença do condensador C_1 no esquema da fig. 14 tem por missão reduzir o efeito da resistência positiva do circuito e facilitar o estabelecimento das oscilações.

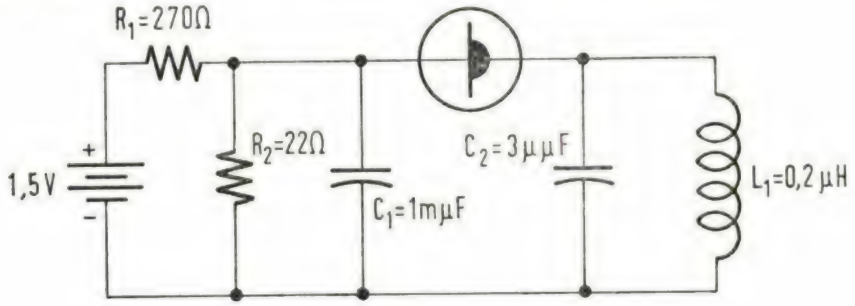


Fig. 14

Nestes circuitos dispomos, como se vê, de um conjunto de ressonância em paralelo cujos parâmetros têm uma importância fundamental no valor da frequência de oscilação. Nem sempre é necessário, contudo, dispor de um conjunto de ressonância exterior ao díodo de túnel pois que o circuito equivalente do próprio díodo inclui elementos reactivos que podem ter um papel preponderante nas condições de oscilação. Com efeito, o circuito equivalente apresenta uma frequência própria de ressonância que vimos ser dada pela expressão (14); para essa frequência, a componente reactiva da impedância do circuito é nula; para frequências inferiores, a impedância tem carácter capacitivo, e, para frequências superiores, carácter indutivo. Assim, se dispuzermos de um díodo de túnel e o quisermos utilizar num circuito oscilador para uma frequência abaixo da sua frequência própria de ressonância, poderemos utilizar um circuito cuja versão simplificada é representada na fig. 15; a bobina de auto-indução L vai constituir com a impedância capacitiva do díodo de túnel um circuito de ressonância em série. Se o circuito oscilador devesse trabalhar numa frequência acima da frequência própria de ressonância do díodo de túnel, a impedância deste seria indutiva e, para constituir um circuito de ressonância, precisaríamos de ligar em derivação com o díodo um condensador, como se representa no esquema da fig. 16.

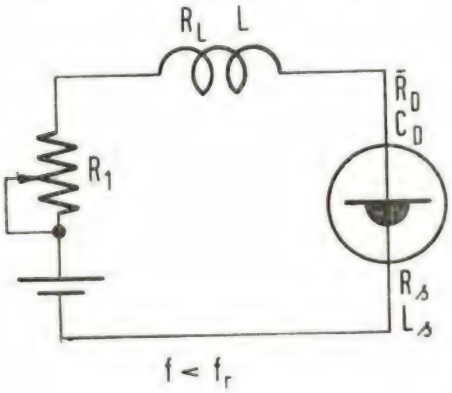


Fig. 15

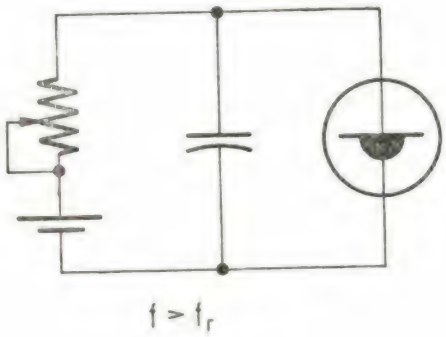


Fig. 16

Analisemos o que se passa no primeiro caso, substituindo o díodo pelo seu circuito equivalente, como se representa no esquema da fig. 17 em que R_t e L_t são dados pelas expressões

$$R_t = R_l + R_s + R \tag{38}$$

$$L_t = L + L_s \,, \tag{39}$$

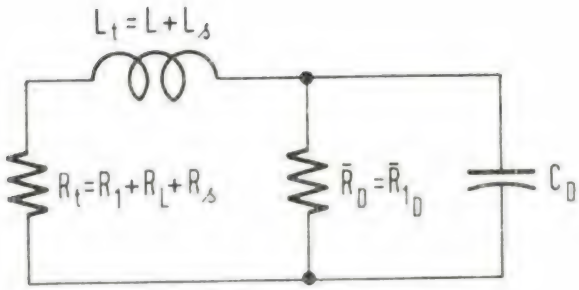


Fig. 17

cuja impedância em série é

$$Z = R_t + j\omega L_t + \frac{\bar{R}_D (1 - j\omega C_D \bar{R}_D)}{1 + \omega^2 C_D^2 \bar{R}_D^2} . \qquad (40)$$

Tal como no esquema da fig. 12, para que este circuito seja um circuito oscilante sem perdas é preciso que: a) a componente resistiva da impedância seja nula; b) o circuito esteja em ressonância. Matemàticamente, será

$$R_t + \frac{\bar{R}_D}{1 + \omega^2 C_D^2 \bar{R}_D^2} = 0 \qquad (41)$$

$$L_t - \frac{C_D \bar{R}_D^2}{1 + \omega^2 C_D^2 \bar{R}_D^2} = 0 \qquad (42)$$

Isto significa que, no que diz respeito a $\bar{R}_D$, deverá satisfazer-se a condição

$$\bar{R}_D = -\frac{L_t}{R_t C_D} . \qquad (43)$$

Pràticamente, as oscilações aumentarão de amplitude até que, em virtude da não-linearidade da característica, se verifique esta condição.

A frequência angular de oscilação será dada por

$$\omega^2 = -\frac{\bar{R}_D + R_t}{C_D^2 \bar{R}_D^2 R_t} = \frac{\bar{R}_D + R_t}{C_D \bar{R}_D L_t} . \qquad (44)$$

A frequência de oscilação será pois

$$f = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{\bar{R}_D + R_t}{C_D \bar{R}_D L_t}} \qquad (45)$$

em que $\bar{R}_D$ é, como sabemos, um número negativo.

Esta expressão mostra que a frequência de oscilação depende fortemente dos valores de $\bar{R}_D$ e de C_D o que significa uma estabilidade de frequência muito fraca. Com efeito, $\bar{R}_D$ e C_D são afectados pela polarização e pela temperatura. Para se conseguir uma maior estabilidade de frequência, convém que a frequência seja essencialmente condicionada por parâmetros exteriores ao díodo de túnel, como no circuito representado na fig. 11.

7. OSCILADORES DE RELAXAÇÃO COM DÍODOS DE TÚNEL.

Conforme vimos, a ordem de grandeza do parâmetro ε definido por (22) condicionava a classe de oscilações que podem ter lugar num circuito oscilante segundo o esquema básico da fig. 7. Além da influência do factor $(\alpha - G)$, que diz respeito à resistência de carga do circuito e à inclinação na zona de resistência dinâmica negativa do díodo de túnel, tem ainda especial importância a relação $\sqrt{L/C}$ dos pârametros do conjunto de ressonância. Vimos ainda que a equação diferencial não linear que traduz o comportamento do sistema se pode integrar por métodos numéricos e gráficos e, na

fig. 10, representa-se a forma das oscilações, francamente de relaxação, para o caso particular de ser $\varepsilon = 10$.

Consideremos agora um oscilador de relaxação com díodo de túnel segundo o esquema básico da fig. 18.

A equação de valores instantâneos relativa ao circuito será

$$V = iR + L\frac{di}{dt} + v\,. \qquad (46)$$

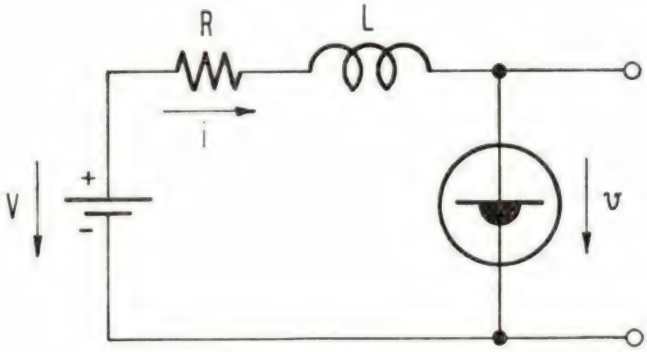


Fig. 18

Por outro lado, v e i devem ser tais que devem existir sobre a característica do díodo de túnel.

Na fig. 19 representamos o gráfico da característica do díodo de túnel e a recta relativa à resistência R para funcionamento em C.C. A tensão V estará situada entre V_P e V_V.

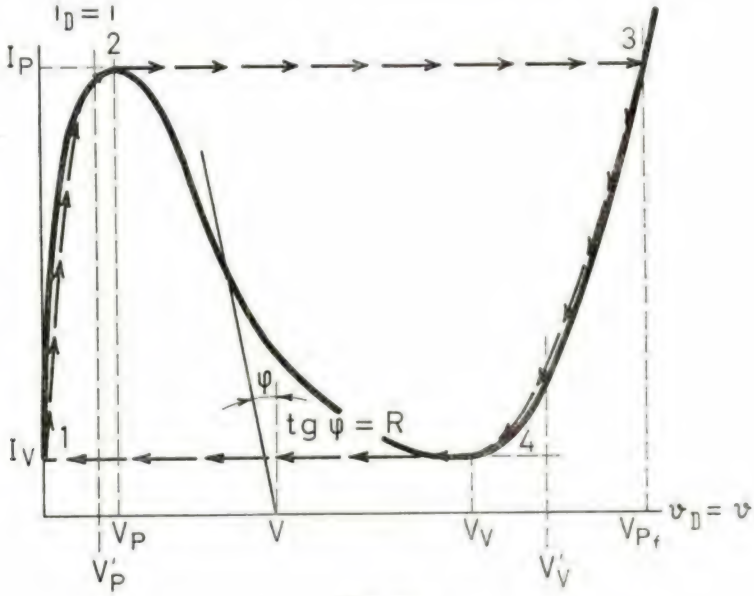


Fig. 19

Quando a tensão V é aplicada ao circuito da fig. 18, a corrente sobe segundo uma lei pràticamente exponencial até o valor I_P (durante um intervalo de tempo t_a), ao longo do percurso 1-2 do ponto de funcionamento, no gráfico da fig. 19 após o que o díodo salta (ou muda bruscamente) para o funcionamento correspondente ao ponto 3; nesta condição, o valor instantâneo de v é superior a V e a corrente no circuito começa a decrescer exponencialmente (durante um intervalo de tempo t_b) até o ponto de funcionamento atingir a posição 4, de onde o díodo salta para o funcionamento correspondente ao ponto 1 ([1]). O percurso 1-2 corresponde a um estado designado de «baixa tensão» e o percurso 3-4, ao estado de «alta tensão».

Na fig. 20 representa-se a variação, no tempo, da tensão v aos terminais do díodo, indicando-se a posição dos pontos de funcionamento ao longo do ciclo 1-2-3-4-1.

([1]) No § 17.8.5, Cap. XVII, de «Electrónica Aplicada», do Autor, estudam-se as razões que justificam estas mudanças bruscas no ponto de funcionamento do díodo de túnel.

Para determinar analìticamente a forma do diagrama de v em função do tempo, dentro de certa aproximação, podemos considerar a característica do díodo idealizada como se indicou na fig. 2.

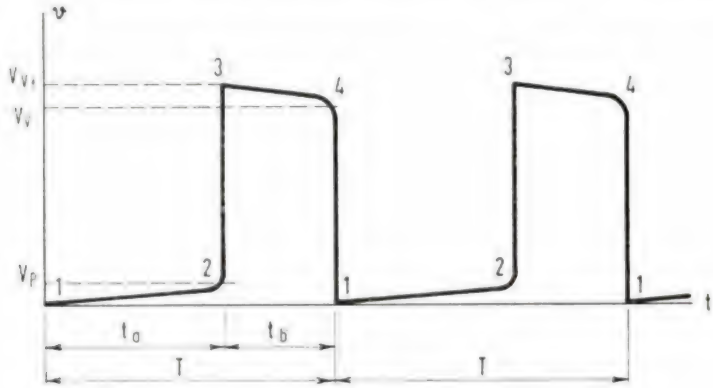


Fig. 20

onde se representam os valores das seguintes tensões: V'_P, correspondente ao ponto 2; V_{Pf}, correspondente ao ponto 3; e V'_V, correspondente ao ponto 4. Designamos ainda por R_{d_1} e R_{d_2} as resistências (agora positivas) correspondentes aos troços 1-2 e 3-4 da característica idealizada que se representa nesta figura. Será pois

$$R_{d_1} = \frac{V'_P}{I_P} \simeq \frac{0{,}75\, V_P}{I_P} \tag{47}$$

admitindo que $V'_P \simeq 0{,}75\ V_P$. Será ainda

$$R_{d_2} = \frac{V_{Pf} - V'_V}{I_P - I_V} \tag{48}$$

em que se pode geralmente considerar

$$V'_V \simeq \frac{V_V + V_{Pf}}{2}\,. \tag{49}$$

O intervalo de tempo correspondente ao percurso 1-2 será dado por

$$t_a = \frac{L}{R_1} \log_n \left(\frac{V - I_V R_1}{V - I_P R_1} \right) \tag{50}$$

em que

$$R_1 = R + R_{d_1} \tag{51}$$

O intervalo de tempo correspondente ao percurso 3-4 será

$$t_b = \frac{L}{R_2} \log_n \left(\frac{V_{Pf} + I_P\ R - V}{V'_V + I_V\ R - V} \right) \tag{52}$$

em que

$$R_2 = R + R_{d_2}\,. \tag{53}$$

De (52) e (50), pode calcular-se o período

$$T = t_a + t_b \tag{54}$$

correspondente a estas oscilações de relaxação.

O circuito básico de oscilador de relaxação que estudámos [1] diz respeito a um dos vários osciladores de relaxação com díodos de túnel utilizados na prática [2].

Num circuito prático [3] de aplicação, utilizando um díodo de túnel tipo IN 2939, em que $R = 20\ \Omega$, $L = 200\ \mu H$ e $V = 150$ mV encontram-se para t_a e t_b e, portanto, para o período T, os seguintes valores: $t_a = 1{,}28\ \mu s$, $t_b = 0{,}55\ \mu s$ e $T = 1{,}83\ \mu s$.

SUMMARY

This article covers a subject of Applied Electronics in which the classic principles of electric oscillations are integrated with the characteristics of new semiconductor electronic devices.

The tunnel diode is formed by semiconductor materials and its operation is based on the phenomenon of quantum mechanics called «tunnel effect». It presents characteristics of negative dynamic resistance and of extremely short switching time so that the tunnel diode is a very useful device in circuits of amplification, oscillation and switching, specially for very high frequencies.

Giving special relevance to the concepts of «punctual» and «global» dynamic resistance and defining the «global dynamic resistance relative to a given harmonic», the problem of amplification and oscillation is dealt with taking into consideration the nonlinearity of the tunnel diode characteristic. Theoretical and practical circuits of sinusoidal and relaxation oscillators are studied from the respective nonlinear differencial equations and also by using equivalent circuits based on the concept of global dynamic resistance relative to a given harmonic.

---

(1) Designado em inglês por «Astable Oscillator».

(2) V. obra citada de S. P. Gentile.

(3) V. pág. 50 do «Tunnel Diode Manual» da G. E.

C. D. U. 621.311.5/94

Elementos sobre a produção e o consumo de energia na rede eléctrica nacional

— Elementos extraídos das estatísticas mensais do Repartidor Nacional de Cargas (R. N. C.)

NOTA: *As produções e os consumos das empresas do R. N. C. representam cerca de 94 % dos totais do País.*

I — Breve nota mensal

No aspecto hidrológico, o mês de Dezembro apresentou-se, muito desfavorável. A energia afluente ao conjunto de todos os aproveitamentos da rede do R.N. C. representa apenas 85 % do valor mais baixo anteriormente registado, o qual se verificara em Dezembro de 1962.

II — Elementos gerais (GWh)

a) Mensais

	1963	1964	Variação %
Produção hidráulica (P_h) . . .	391,6	293,1	— 25
Produção térmica (P_t)	1,5	89,1	—
Produção total (P_T)	393,1	382,2	— 3
Exportações (Ex)	0,0	1,1	—
Importações (I)	0,0	21,1	—
Consumo em bombagem (Cb)(1)	—	—	—
Produção para consumos não perman. (P_{cnp}) (2)	73,3	11,0	— 85
Produção para consumos permanentes (P_{cp}) (3)	319,8	191,2	+22,3 (4)
Coeficiente de hidraulicidade	1,78	0,31	—

b) Acumulados desde 1 de Janeiro

	1963	1964	Variação %
Produção hidráulica (P_h) . . .	3902,1	4137,7	+ 6
Produção térmica (P_t)	129,9	311,6	+ 140
Produção total (P_T)	4032,0	4449,3	+ 10
Exportações (Ex)	54,0	55,1	+ 2
Importações (I)	0,1	43,0	—
Consumo em bombagem (Cb)(1)	—	—	—
Produção para consumo não perman. (P_{cnp}) (2)	689,6	721,1	+ 5
Produção para consumos permanentes (P_{cp}) (3)	3288,5	3716,1	+13,0 (4)
Coeficiente de hidraulicidade	1,55	0,94	—

NOTAS

(1) Energia consumida em bombagem para armazenamento na Albufeira do Alto Rabagão.

(2) Consideram-se consumos não permanentes os indicados em 4.2.

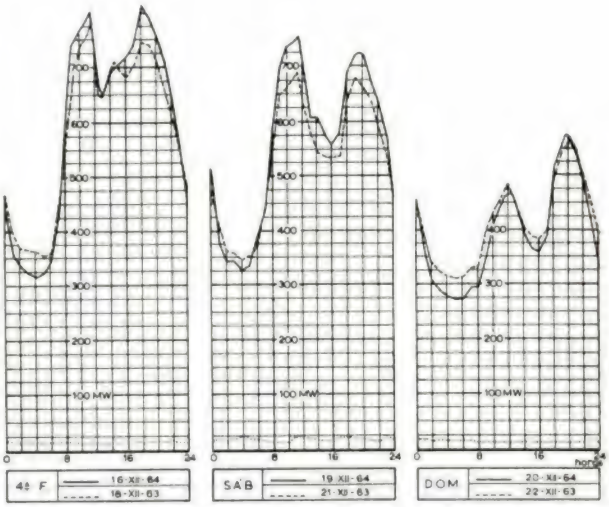
(3) A produção para consumos permanentes (P_{cp}) é determinada pela seguinte expressão: $P_{CP} = P_T - C_b - P_{cnp} + I - E_X$

(4) O aumento percentual de produção para consumos permanentes, tendo em conta a incidência dos domingos e dias especiais, é respectivamente de 20,6 % e 12,3 %.

III — Diagramas de carga dos dias característicos

			4.ª feira: 1963	4.ª feira: 1964
Produção hidráulica		(P_h) MWh	14355	11296
Produção térmica		(P_t) MWh	0	3166
Produção total		(P_T) MWh	14355	14462
Trocas com Espanha	Export.	(Ex) MWh	0	55
	Import.	(I) MWh	0	154
TOTAL		$P_T + (I - E_X)$ MWh	14355	14561
Prod. para cons. perm.		(P_{cp}) MWh	12021	14185
Prod. para cons. não perm.		(P_{cnp}) MWh	2334	376
Características dos diagramas	$P_T + (I - E_X)$	Potência max. MW	781	814
		Potência mín. MW	351	318
		Utiliz. da ponta horas	18,4	17,9
		Factor de carga	0,77	0,75
	P_{cp}	Potência máx. MW	684	798
		Potência mín. MW	250	303
		Utiliz. da ponta horas	17,6	17,8
		Factor de carga	0,73	0,74

DEZEMBRO



IV — Energia armazenada nas principais albufeiras

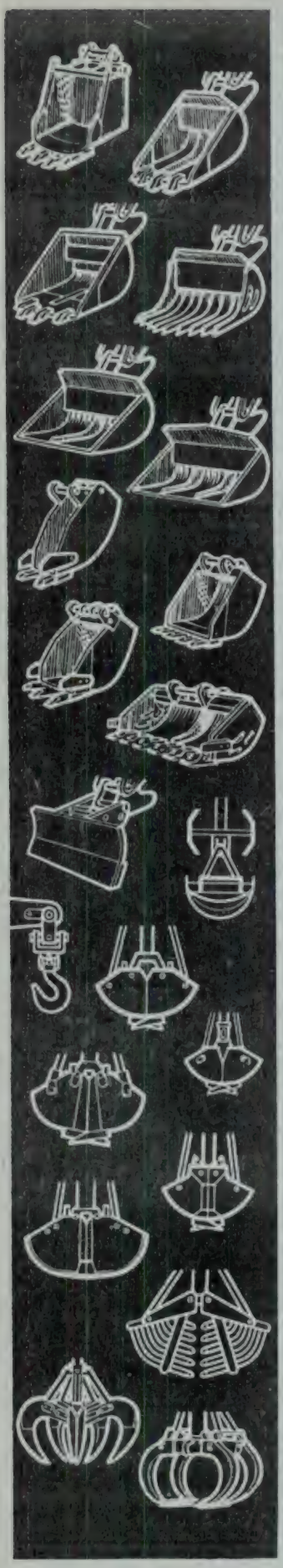
Albufeiras:	No fim do mês GWh	No fim do mês % (1)
Alto Rabagão	108,2	11,1
Paradela	9,3	4,2
Venda Nova	18,5	14 5
Salamonde	11,8	42,8
Caniçada	13,7	41,4
Vilar	—	—
Cabril	35,9	10,6
Castelo do Bode	35,6	21,8
Guilhofrei	0,8	12,7
Lagoa Comprida	3,8 (2)	11,6
Santa Luzia	10,4	16,9
Pracana	0,5	3,9
Póvoa	1,7 (3)	9,6
Total { com A. Rabagão . . .	250,2	—
Total { sem A. Rabagão . . .	142,0	13,6

Notas:

(1) Coeficiente de enchimento em energia das albufeiras.

(2) Inclui 2,0 GWh armazenados em Vale do Rossim no início do mês e 0,4 GWh no fim do mês.

(3) Inclui 0,3 GWh armazenados no açude do Poio no início do mês e 0,7 GWh no fim do mês.



Poclain T.Y. 45

Escavadora-Retro Escavadora-Grua

- POTÊNCIA AUMENTADA
- ROTAÇÃO TOTAL E CONTÍNUA
- ESTABILIDADE 100 %
- 20 BALDES DIFERENTES

REPRESENTANTES EXCLUSIVOS

Sociedade de Mecanização Industrial e Agrícola, S. A. R. L.
Avenida Padre Manuel da Nóbrega, 8-B-1.º — LISBOA
Telefone: 72 40 53 / 4 / 5

SMEIA

FANAFEL

FÁBRICA NACIONAL DE FELTROS INDUSTRIAIS

SOCIEDADE LIMITADA

APART.: 9
TELEF.: 52093—52094
TELEG.: FELTROS

OVAR
PORTUGAL

ESCRITÓRIO E FÁBRICA
ESTRADA DE S. JOÃO

FELTROS, FILTROS E TECIDOS INDUSTRIAIS PARA TODOS OS FINS:

EM PEÇAS, PANOS, MANGAS OU SACOS,
DE QUALQUER FIBRA

PASTA PARA PAPEL
PAPEL
FIBROCIMENTO
CURTUMES
FIAÇÕES DE ALGODÃO
LINHAS
INDÚSTRIAS QUÍMICAS

TECELAGENS
ACABAMENTOS
TINTURARIAS
LAVANDARIAS
ESTAMPARIAS
FILTROS
DESPOEIRAGEM

FLUIDO E MASTIC

IMPERMEABILIZAÇÕES

TORNA TUDO ESTANQUE

Impermeabilização e vedação perfeita de:

Terraços, Empenas, Algerozes, Clarabóias,
Paredes húmidas, Coberturas, Fendas,
Juntas de dilatação, etc., etc.

Fácil aplicação — Elasticidade excepcional
Não endurece nem apodrece

ROOFATEX **À base de borracha + alumínio**

Reforça a acção impermeabilizante do «Rubio», dando às construções um aspecto agradável — Protege todos os materiais contra a humidade, a ferrugem e a corrosão

RUBIO E ROOFATEX dois produtos que se completam

Representante exclusivo: Orlando Fernandes

Rua Palmira, 46-A-B-C — LISBOA-1 — Telefs. 83 01 63 - 84 26 39 — End. teleg. «ORFER»

C. D. U. 658.5.015 : 623.81

REGULAÇÃO SINTÉTICA DA PRODUÇÃO NUM ESTALEIRO NAVAL

(Continuação)

PELO ENGENHEIRO CAETANO CARREIRA

10. PRAZOS.

10.1. ENCOMENDAS EM QUE INTERVÉM UMA SÓ ESPECIALIDADE.

Continuemos a imaginar que a semana actual é s e que as nossas previsões se exprimem pelo gráfico da fig. 9.4. Suponhamos ainda que neste momento é aberta uma grande encomenda, f, parte substancial da qual se prevê fique disponível na semana $i \geqq s$. Qual o prazo dentro do qual nos podemos lògicamente comprometer a realizar a encomenda f ?

Resolveremos primeiro o problema na hipótese dela afectar apenas uma especialidade h, exigindo-lhe a produção de

$$Q_{hsi}{}^{f} = Q_{si}{}^{f} = 1000\ Hh \tag{10.1}$$

Verifica-se existir uma alta probabilidade de que os hH totalizados reais lançados a uma encomenda se distribuam no tempo segundo uma curva em S, do tipo logística clássica ou deformada, (ref. 20). Na Lisnave, por exemplo, a curva em S, $\mu = \mu\ (\nu)$, que mais provàvelmente corresponde a trabalhos de reparação naval, feitos pela Secção de Caldeiraria, determinada a partir dum elevado número de casos reais, é a que se apresenta na fig. 10.1. Usam-se coordenadas homogéneas para limitar as curvas possíveis a uma só. A núvem de pontos a partir da qual esta foi traçada mostra claramente estar a percentagem de trabalho feito alta e directamente correlacionada com a percentagem de tempo passado, mas não deixa ilusões sobre o significado da curva pela qual representamos sintèticamente essa correlação. Em boa verdade deveríamos para o efeito utilizar uma faixa, (fig. 10.2). É porém francamente mais cómodo usar uma curva única e a experiência mostra que tal facto não conduz a erros significativos no cálculo das cargas totais ou dos prazos. A razão está em que cada especialidade tem de produzir para várias encomendas grandes e os desvios verificados em cada uma se compensam estatìsticamente.

Uma curva como a da fig. 10.1, pode exprimir-se analìticamente com auxílio da equação de definição da logística clássica, (ref. 21):

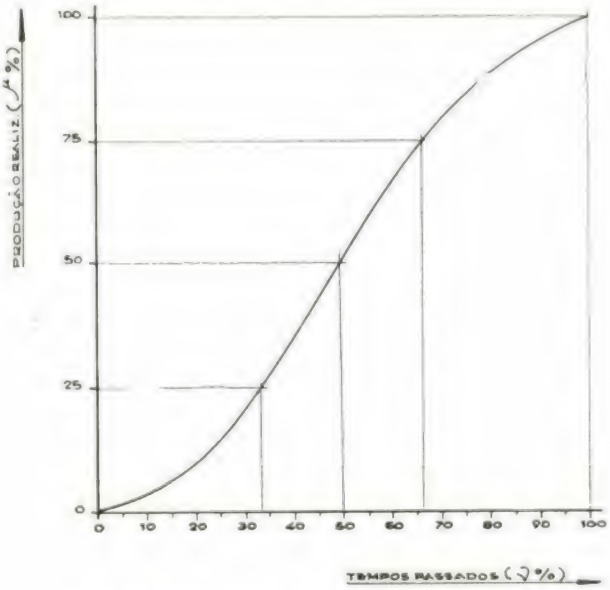


Fig. 10.1 — Logística estatística da Secção de Caldeiraria (LISNAVE, 1962).

$$y = \frac{k}{1 + b\,e^{-at}} \tag{10.2}$$

mas, pelas razões acima apontadas, o uso duma tal expressão analítica de modo nenhum significa maior rigor nos cálculos subsequentes ou nas conclusões que deles queiramos tirar. Tão válida como (10.2) é uma curva prática, usada quando não existam registos da experiência pas-

sada, e que se desenha com auxílio da seguinte tabela, (fig. 10.3):

Pontos	% de tempo passado	% de trabalho feito
I	0	0
II	33,3	25
III	50	50
IV	66,7	75
V	100	100

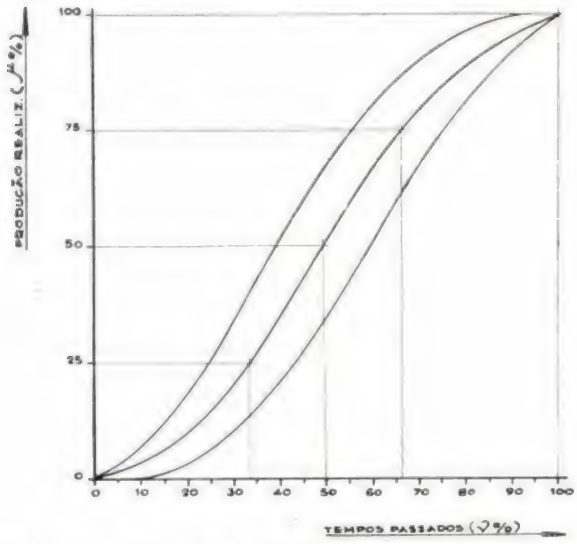


Fig 10.2 — Faixa de significância a ± 2 . desvio quadrático médio, de μ em relação a ν, para a logística estatística da fig. 10.1.

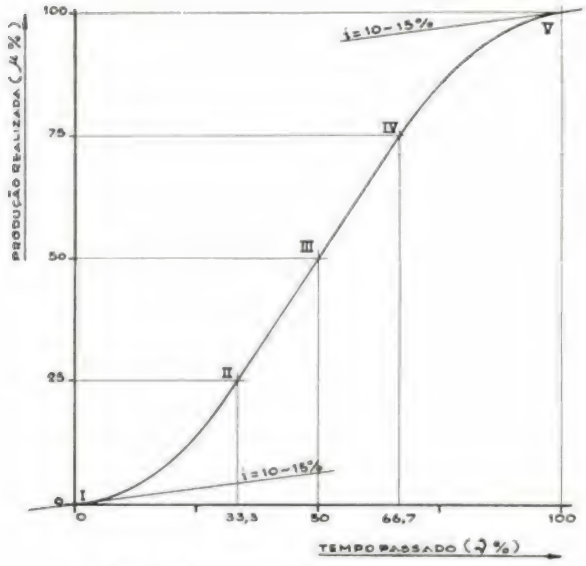


Fig. 10.3 — Curva logística empírica.

Entre II e IV traça-se um segmento de recta, que passa por III. Entre I e II, bem como entre IV e V, traçam-se arcos de curvas regulares, à mão, tangentes em II e IV àquele segmento de recta e atingindo os pontos I e V com a inclinação de 10 a 15 % (quando são iguais as escalas das ordenadas e das abcissas).

No entanto a boa norma é desenhar curvas em S próprias de cada especialidade e de cada estaleiro, a partir de dados colhidos em registos existentes, pois em muitos casos é sensível a deformação das curvas assim obtidas em relação à logística clàssica.

A derivada da curva em S, $\frac{d\mu}{d\nu}$, é uma curva em sino, (fig. 10.4), e a partir dela pode trans-

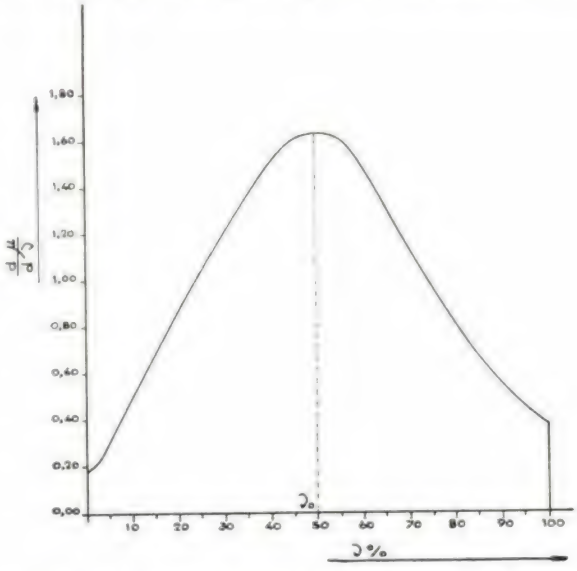


Fig. 10.4 — Curva derivada da logística mais provável das reparações (LISNAVE, Secção de Caldeiraria, 1962).

formar-se $Q_{hsi}{}^f$ em carga semanal, $R_{hsj}{}^f$. É este o segundo critério com que se afina a partição de $Q_{hsi}{}^f$. Vejamos como.

Admitamos um prazo igual a $T^f{}_{hsip}$ semanas. Conhecidos $Q_{hsi}{}^f$, $T^f{}_{hsip}$ e a curva $\frac{d\mu}{d\nu}$, pode calcular-se o número máximo de hH que é necessário empregar na semana j_o, que contém o instante $(i + \nu_o\ T^f{}_{hsip})$ para satifazer a encomenda no prazo indicado:

$$(10.3)\quad R_{hsj_o}{}^f = \overline{\left(\frac{d\mu}{d\nu}\right)_{j_o}}\ Q_{hsi}{}^f \quad (i + \nu_o T^f{}_{hsip} \in j_o)$$

Esta condição define um limite inferior de $T^f{}_{hsjp}$. Com efeito, imaginemos um exemplo simples, qual seja o da beneficiação de rotina de

um motor Diesel de propulsão, em que é necessário:

- Substituir válvulas de escape e regular as respectivas folgas;
- Substituir válvulas de diagramas;
- Desmontar válvulas de retenção do sistema de lubrificação dos cilindros, desobstruir os orifícios dos canais e montar novas válvulas;
- Abrir as portas de visita das câmaras de manivelas, verificar apertos dos mecanismos de transmissão e tensão de correntes, etc.

Em certos casos este trabalho exige 100 hH e pode realizar-se em 1,15 dias, com 10 Homens. Se nele empregarmos 14 Homens o trabalho correrá um pouco mais depressa, não levando mais de 1,0 dia, mas a mão de obra gasta subirá para 110 hH. É porém insensato pensar que com 18 Homens ainda se pode fazer mais rápido. Porque se atrapalham uns aos outros, não se movimentando com facilidade num espaço restrito; porque é mais difícil coordenar o trabalho de maior número de pessoas; porque qualquer interrupção ocasional faz parar 18 Homens em vez de 10, etc.; aplicar 18 operários em tal serviço corresponderá muito provàvelmente a aumentar a mão de obra gasta para 175 hH e o prazo para 1,25 dia. Quer dizer, este trabalho, como todos os outros aliás, admite uma carga semanal máxima por turno que, se for excedida, prejudica muito ràpidamente o rendimento de trabalho, sem benefício de prazo, em certos casos até com prejuízo, (fig. 4.1). Portanto

(10.5) $R_{hsj}{}^{f}_{o} \leqq \sum_{t}$ carga semanal máxima admissível no turno t

Considerando satisfeita esta condição pelo novo prazo $T^{f}{}_{hsiq}$, a consequente partição de $Q_{hsi}{}^{f}$ em cargas semanais é fácil:

$$(10.6) \quad R_{hsj}{}^{f} = \overline{\left(\frac{d\,\mu}{d\,\nu}\right)_{j}} \cdot Q_{hsi}{}^{f} \qquad (i + \nu\, T^{f}{}_{hsiq} \in j)$$

10.2. ENCOMENDAS EM QUE INTERVÊM VÁRIAS ESPECIALIDADES.

Estamos agora em condições de resolver o problema dos prazos, no caso da encomenda exigir o concurso de várias especialidades.

Consideremos uma encomenda f, constando na sua maioria de trabalhos correntes no estaleiro. Na prática existem sempre algumas tarefas preliminares, que exigem um número deminuto de hH, mas são indispensáveis. Também é frequente que, mesmo depois de entregue o navio ao cliente, o estaleiro continue a executar para a mesma encomenda pequenos trabalhos de revisão e beneficiação de equipamentos amovíveis ou de garantia. Em consequência e para efeitos de comparação com a logística de referência, só tem sentido iniciar a contagem do prazo na semana em que são ultrapassados 2 % dos Hh totais que se prevê sejam necessários para satisfazer completamente a encomenda:

$$(10.7) \qquad 2\,\%\, Q_{s}{}^{f} = 2\,\%\, \sum_{hi} Q_{hsi}{}^{f}$$

Do mesmo modo e para o mesmo efeito consideramos a encomenda satisfeita logo que a diferença entre horas totais acumuladas *correctamente* previstas e reais se reduza a menos de 2 % daquelas, (fig. 10.5).

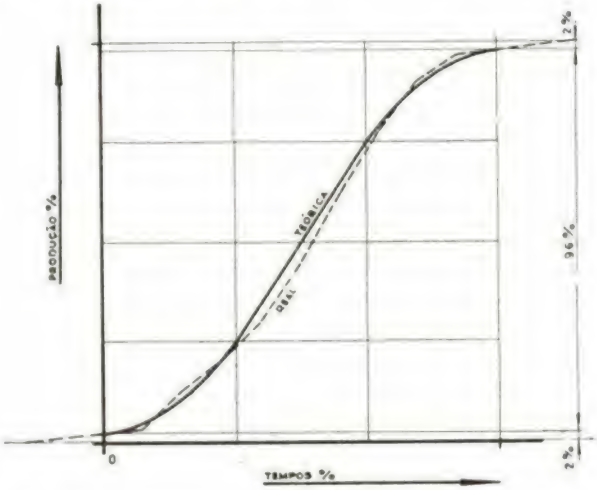


Fig. 10.5—Comparação da logística teórica com uma real

Uma vez que os trabalhos sejam qualitativamente repetitivos, a intervenção das diferentes especialidades h neles interessadas, sucede-se por certa ordem, (fig. 10.6), sendo em muitos casos possível determinar estatìsticamente as distribuições prováveis no tempo, do início e do fim das intervenções de cada especialidade, (fig. 10.7).

Com base nessas distribuições probabilísticas pode prever-se com aproximação razoável a

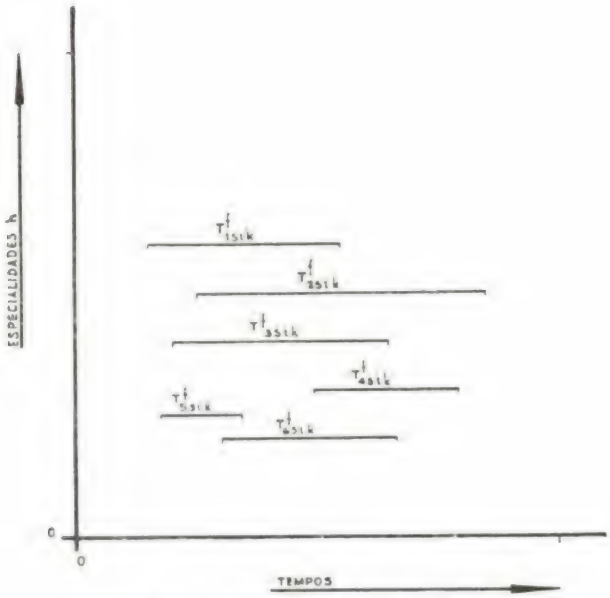


Fig. 10 6 — Intervenção simultânea de várias especialidades numa dada encomenda, *f*.

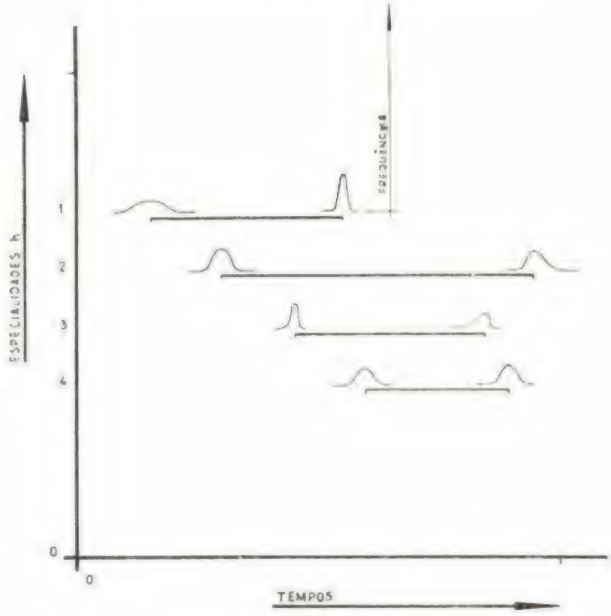


Fig. 10.7 — Intervenção simultânea de várias especialidades numa dada encomenda, ordenadas por instante de começo e com representação das distribuições probabilísticas de início e fim da intervenção.

sequência de actuação das várias especialidades intervenientes. O prazo em que se processa cada uma será, tomando valores prováveis,

(10.8) $$T^f_{hsik} = k_{sh} - i_{sh}$$

Ordenemos os *hh* por forma tal que, (fig. 10.8)

(10.9) $$i_{s(h+1)} \geq i_{sh}$$

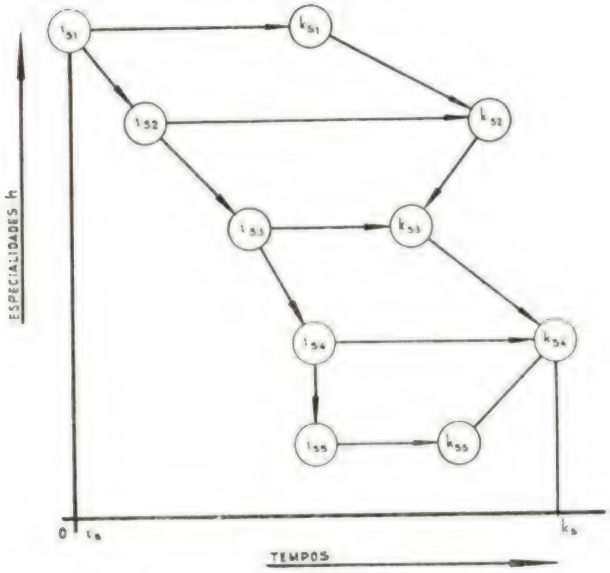


Fig. 10.8 — Ligação abstracta das intervenções de várias especialidades numa dada encomenda.

Se compusermos as logísticas correspondentes às várias especialidades, tendo em atenção os intervalos de tempo ao longo dos quais elas se desenvolvem, obteremos uma logística global que satisfaz razoàvelmente à logística de referência adoptada, (fig. 10.9).

Outra maneira de proceder, quiçá mais objectiva baseia-se no método de planeamento Roy (ref. 24). Suponhamos uma encomenda que eixge o concurso de 6 especialidades diferentes e as seguintes cargas:

h	$Q_{hsi}{}^f$
1	2000 Hh
2	1000
3	4000
4	3000
5	2000
6	1600

O início da actuação de algumas especialidades está dependente de trabalhos prèviamente feitos por outras especialidades. Representemos essa ordenação como se indica na fig. 10.10.

Cada nó representa a tarefa entregue à especialidade nele marcada. Cada vector define a produção a realizar pela especialidade origem antes da especialidade extremo poder arrancar.

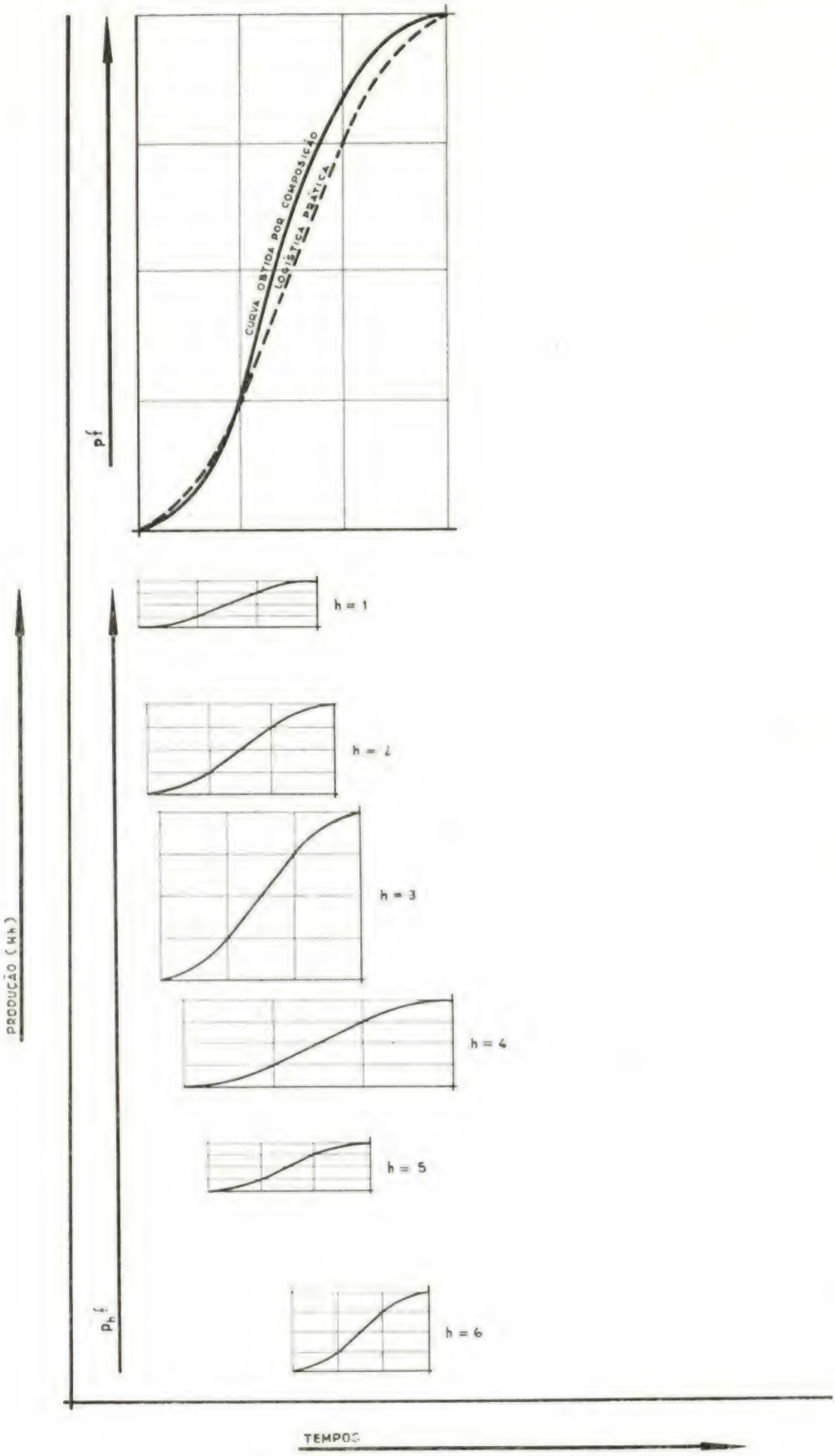


Fig. 10.9 — Composição de logísticas.

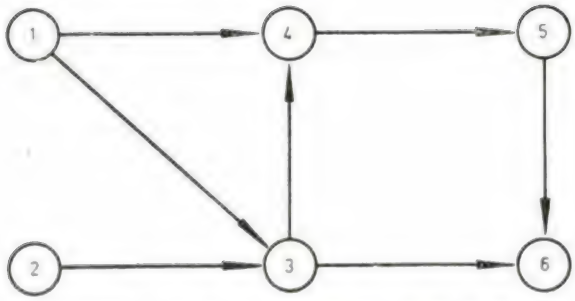


Fig. 10.10 — Rede de procedências (Método Roy)

Admitamos que essas produções são as seguintes:

Vector		Produção correspondente
origem	extrem.	
1	3	400
1	4	1000
2	3	600
3	4	1000
3	6	800
4	5	1200
5	6	400

A fig. 10.11 mostra como se pode, com estes dados, construir um planeamento devidamente interligado da intervenção das várias especialidades, desde logo ordenado por forma a satisfazer à expressão (10.9).

Seja então

$$k_{sl} \geqq k_{sh} \tag{10.10}$$

qualquer que seja h.

É evidente que k_{sl} define a data em que, na semana s, se prevê o estaleiro conclua a encomenda

$$k_s = k_{sl} \tag{10.11}$$

Dum modo geral pode escrever-se

$$\left\{\begin{array}{l} h < l \\ T^f{}_{sik} = \sum\limits_{j=i}^{j=h-1} [i_{s(j+1)} - i_{sj}] + \\ + (k_{sh} - i_{sh}) + \sum\limits_{j=h}^{j=l-1} [k_{s(j+1)} - k_{sj}] \end{array}\right. \tag{10.12}$$

$$\left\{\begin{array}{l} h = l \\ T^f{}_{sik} = \sum\limits_{j=i}^{j=h-1} [i_{s(j+1)} - i_{sj}] + (k_{sh} - i_{sh}) \end{array}\right. \tag{10.13}$$

$$\left\{\begin{array}{l} h > l \\ T^f{}_{sik} = \sum\limits_{j=i}^{j=h-1} [i_{s(j+1)} - i_{sj}] + (k_{sh} - i_{sh}) - \\ - \sum\limits_{j=i}^{j=h-1} [k_{s(j+1)} - k_{sj}] \end{array}\right. \tag{10.14}$$

equações que relacionam cada prazo elementar $T^f{}_{hsik} = k_{sh} - i_{sh}$ com o prazo global, $T^f{}_{sik}$. Elas permitem determinar o prazo global, por um método iterativo, a partir duma determinação prévia dos prazos elementares pelo método indicado no parágr. 10.1.

10.3. INFLUÊNCIA DA VARIAÇÃO DOS PRAZOS NO PRAZO GLOBAL.

O problema que ora nos propomos tratar é o seguinte:

— Suponhamos que na semana s_o, passada, se determinou um prazo global, $T^f{}_{s_o i_o k_o}$, conforme ao que atrás se diz e baseado em cargas absolutas $Q_{hs_o i_o}{}^f$. Admitamos que estas cargas não variaram mas que, por qualquer razão, a produção realizada até à semana actual s, por cada uma das especialidades h, é diferente da prevista:

$$\sum_{j=i_o}^{j=s-1} P_{hj}{}^f \neq \sum_{j=i_o}^{j=s-1} R_{hs_o j}{}^f \tag{10.15}$$

Qual a influência deste facto no prazo global? Ou, o que é o mesmo, qual o novo prazo global, $T^f{}_{si_o k}$, que se deve prever?

A experiência mostra que, se a encomenda começou efectivamente em i_o, isto é, se na mesma semana,

$$\sum_{j=s_o}^{j=i_o} \sum_h P_{hj}{}^f = 2\,\%\, Q_{s_o i_o}{}^f = 2\,\%\, \sum_{j=i_o}^{j=k_o} \sum_h R_{\ \ o j}{}^f \tag{10.16}$$

não há normalmente razões válidas para alterar o prazo $T^f{}_{s_o i_o k_o}$ antes da semana

$$i_o + \frac{1}{3} T^f{}_{s_o i_o k_o} \tag{10.17}$$

porquanto o tempo que ainda falta decorrer até k_o pode perfeitamente absorver qualquer avanço que se tenha conseguido, ou permitir a recuperação, no caso oposto.

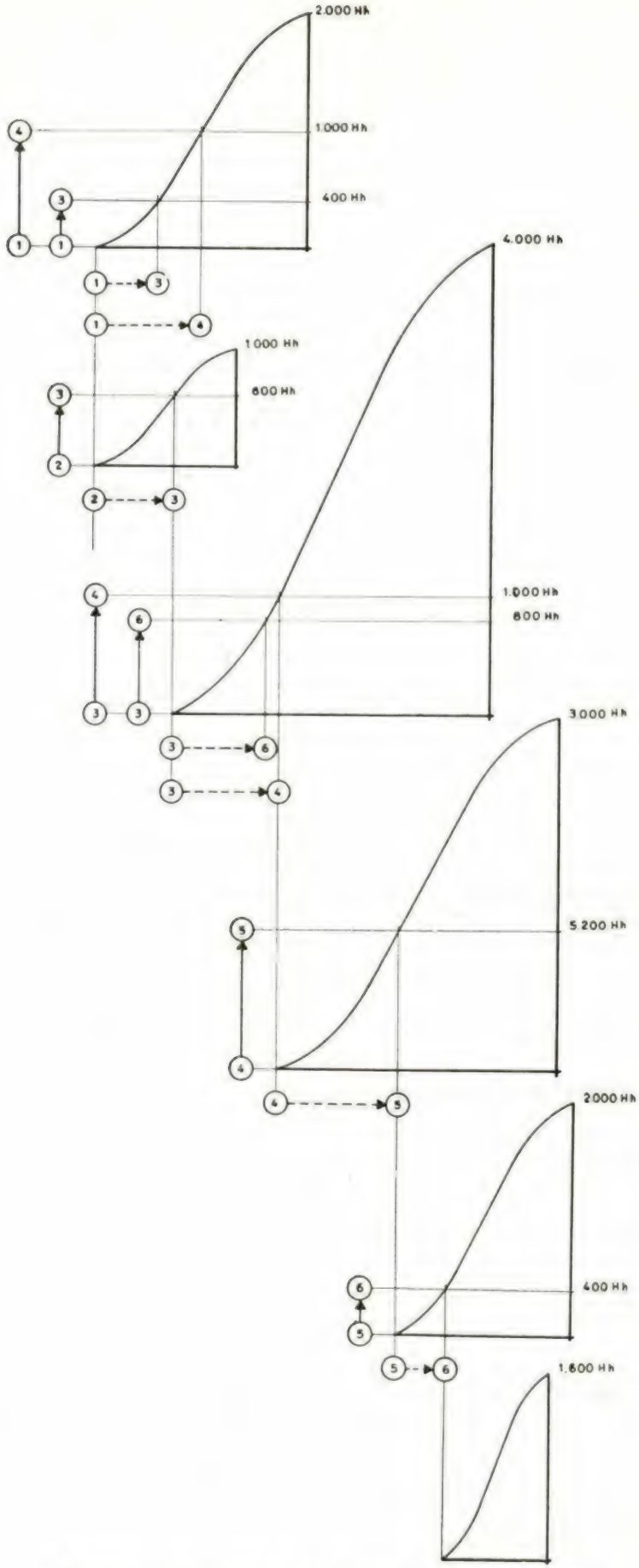


Fig. 10.11 — Composição de logísticas de começo condicionado.

Suponhamos agora que a produção global acumulada passa na semana

$$(10.18) \qquad s_1 = i_o + \frac{1}{3} T^f_{s_o i_o k_o}$$

com a inclinação

$$(10.19) \qquad tg\ \alpha = P_{s_1}{}^f = \sum_h P_{hs_1}{}^f$$

e que, com ela, (fig. 10.12), atingiu ou vai atingir a ordenada

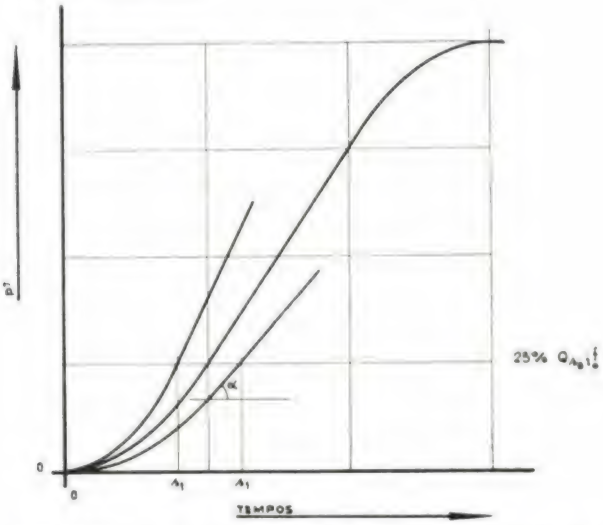


Fig. 10.12 — Comparação de logísticas reais com a logística prática (prevista) para efeitos de determinação de prazos novos.

$$(10.20) \quad 25\ \%\ Q_{s_o i_o}{}^f = 25\ \%\ \sum_{j=i_o}^{i=k_o} \sum_h R_{hs_o j}{}^f$$

A logística prática permite afirmar que, em tal hipótese,

$$(10.21) \begin{cases} s_1 = i_o + \dfrac{1}{3} T^f_{s_o i_o k_o} \\ T^f_{s_1 i_o k_1} = k_1 - i_o = 3 \left[\dfrac{1}{3} T^f_{s_o i_o k_o} + \right. \\ \left. + \dfrac{1}{tg\,\alpha} (0{,}25\, Q_{s_o i_o}{}^f - \sum\limits_{j=s_o}^{j=s_1} \sum\limits_h P_{hj}{}^f) \right] = \\ = T^f_{s_o i_o k_o} + \dfrac{0{,}75\, Q_{s_o i_o}{}^f - 3 \sum\limits_{j=s_o}^{j=s_1} \sum\limits_h P_{hj}{}^f}{\sum\limits_h P_{hs_1}{}^f} \end{cases}$$

Está, pois, definido um novo prazo. Está bem de ver que a inclinação da produção acumulada real, $\sum_h P_{hs_2}{}^f$, numa qualquer semana s_2, tal que

$$(10.22) \quad i_o + \frac{1}{3} T^f_{s_1 i_o k_1} \leq s_2 \leq i_o + \frac{2}{3} T^f_{s_1 i_o k_1}$$

pode ser diferente de P_{s_1}:

$$(10.23) \qquad P_{s_2}{}^f \neq P_{s_1}{}^f$$

Qual o novo prazo que pode ser previsto sobre $P_{s_2}{}^f$? Por raciocínios idênticos aos já feitos, (fig. 10.13):

$$(10.24) \begin{cases} i_o + \dfrac{1}{3} T^f_{s_1 i_o k_1} \leq s_2 \leq i_o + \dfrac{2}{3} T^f_{s_1 i_o k_1} \\ T^f_{s_2 i_o k_2} = k_2 - i_o = \dfrac{3}{2} \left[(s_2 - i_o + \right. \\ \left. + \dfrac{1}{\sum\limits_h P_{hs_2}{}^f} (0{,}75\, Q_{s_o i_o}{}^f - \sum\limits_{j=s_o}^{j=s_2} \sum\limits_h P_{hj}{}^f) \right] \end{cases}$$

Finalmente, uma vez ultrapassada a semana s_3 em que

$$(10.25) \qquad 0{,}75\, Q_{s_o i_o}{}^f = \sum_{j=s_o}^{j=s_3} \sum_h P_{hj}{}^f$$

admitimos que é pouco provável que o prazo deixe de ser

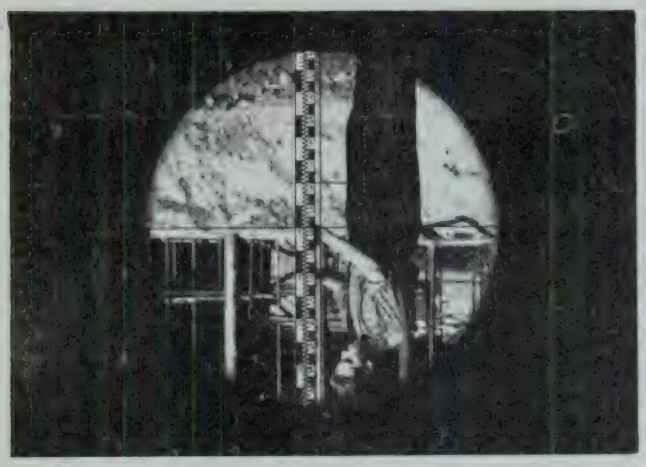
$$(10.26) \qquad T^f_{s_3 i_o k_3} = \frac{3}{2} (s_3 - i_o)$$

pois os trabalhos de acabamento raro consentem cadências espectaculares que permitam recuperar atrasos, nem mobilizam simultâneamente tanto pessoal que seja difícil garantir neles os hH de presença necessários para cumprir $T^f_{s_3 i_o k_3}$.

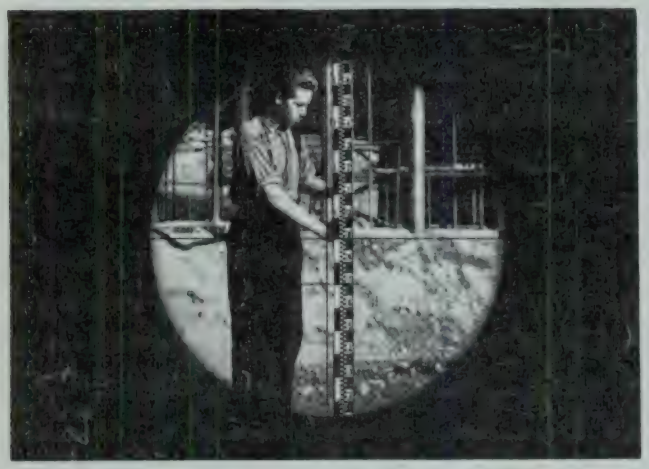
Finalmente, e para concluir este parágrafo, podemos perguntar: que acontece se a encomenda tiver começado a ser executada na semana $i_x \neq i_o$? Todos os raciocínios feitos e expressões calculadas continuam válidas, apenas transformadas pela substituição de i_o por i_x:

$$(10.27) \begin{cases} i_x \leq s \leq i_x + \dfrac{1}{3} T^f_{i_x i_x k} \\ T^f_{si_x k} = T^f_{i_x i_x k} \end{cases}$$

ANTIGAMENTE :

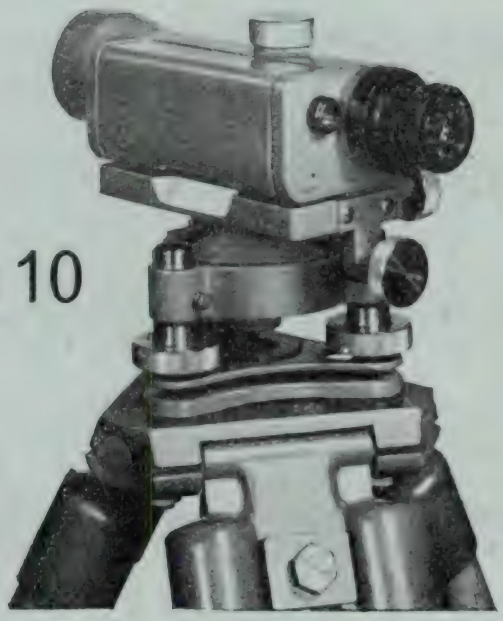


HOJE :



Com
imagem
direita
na luneta

WILD
HEERBRUGG



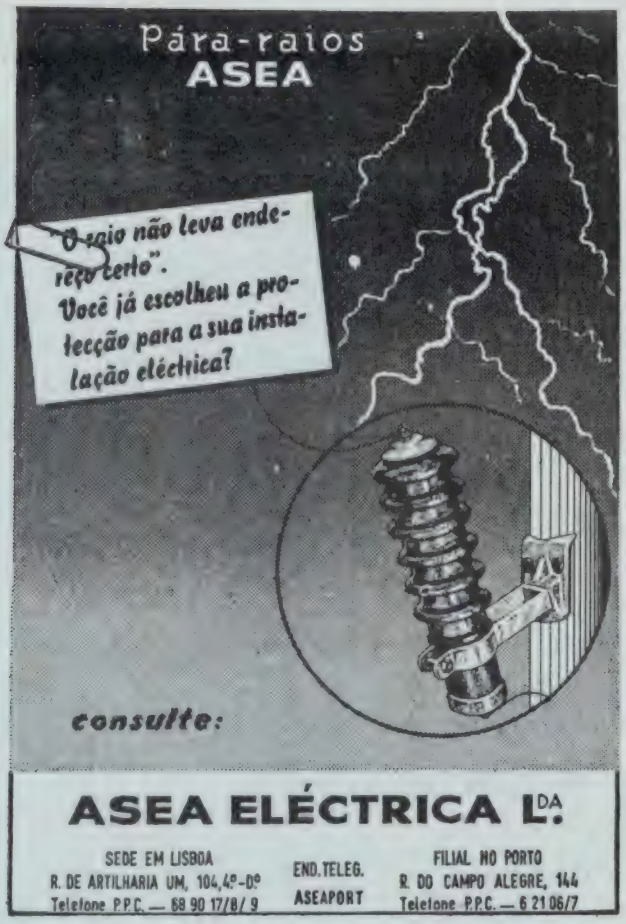
N 10

Trabalho cómodo e simples sem erros e sem dúvidas, sinais correctos, não invertidos, claros e rápidos.

O pequeno nível WILD N 10 com a designação «E» tem imagem direita do campo de observação na luneta. A mesma tem luminosidade igual ao modelo convencional e o mesmo tamanho.

Representantes exclusivos

WILD PORTUGAL, LDA. PRAÇA DAS ÁGUAS LIVRES, 8
LISBOA-2 — TELEFONE 68 11 27



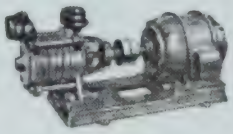
ASEA ELÉCTRICA L.DA

SEDE EM LISBOA
R. DE ARTILHARIA UM, 104,4.º-D.º
Telefone P.P.C. — 68 90 17/8/9

END. TELEG.
ASEAPORT

FILIAL NO PORTO
R. DO CAMPO ALEGRE, 144
Telefone P.P.C. — 6 21 06/7

BOMBAS



Se tem um problema de bombas, consulte

VASCO PESSOA, LDA.

Rua da Boavista, 63

LISBOA

confiança para a construção com

materiais novobra

EM BETÃO PRÉ-ESFORÇADO

pavimentos
coberturas
vigas de grande vão
asnas
perfis

SOCIEDADE DE PRÉ-FABRICAÇÃO E OBRAS GERAIS, NOVOBRA, LDA.
AV. EST. UNIDOS DA AMÉRICA, 100, 5.º D. - TEL. 77 48 32/766446 - LISBOA-5

Companhia Portuguesa de Trefilaria
S. A. R. L.

ARMADURAS PRÉ-FABRICADAS **MALHASOL**

Tensão de segurança 3.000 Kg/cm²

AÇO BI

Tensão de segurança 4.000 Kg/cm²

AÇOS DE ALTA RESISTÊNCIA PARA BETÃO ARMADO

que pela eficiência técnica e económica a que conduzem, são um indispensável elemento na moderna construção civil

Para qualquer obra em betão armado consulte:

DIAL — GABINETE TÉCNICO
R. DO INSTITUTO INDUSTRIAL, 18-1.º DT.º
TELEFONES 67 12 24/5 E 67 37 85 — LISBOA

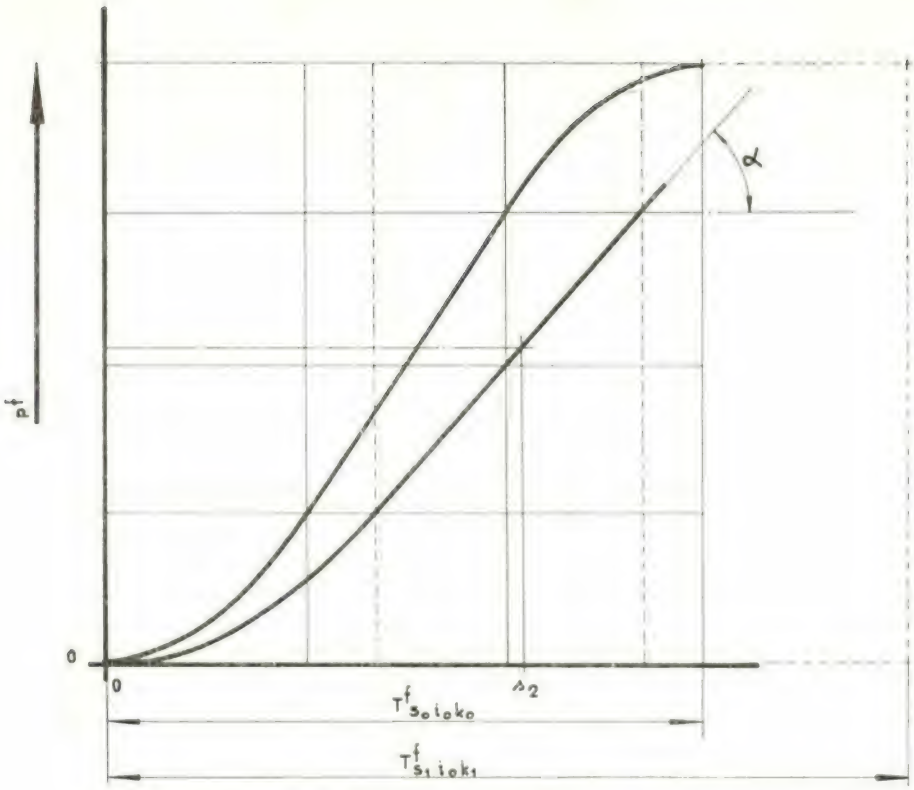


Fig. 10.13 — Alargamento do prazo por baixa cadência de produção.

$$(10.28)\quad \begin{cases} s_1 = i_x + \dfrac{1}{3} T^f_{i_x i_x k} \\ T^f_{s_1 i_x k_1} = T^f_{i_x i_x k} + \dfrac{1}{\sum\limits_h P_{hs_1}{}^f} \Big(0{,}75\, Q_{s_0 i_0}{}^f - \\ -3 \sum\limits_{j=s_0}^{j=s_1} \sum\limits_h P_{hj}{}^f \Big) \end{cases}$$

$$(10.29)\quad \begin{cases} i_x + \dfrac{1}{3} T^f_{s_1 i_x k_1} \leqq s_2 \leqq i_x + \dfrac{2}{3} T^f_{s_1 i_x k_1} \\ T^f_{s_2 i_x k_2} = \dfrac{3}{2}(s_2 - i_x) + \\ + \dfrac{1}{\sum\limits_h P_{hs_1}{}^f} \Big(1{,}125\, Q_{s_0 i_0}{}^f - 1{,}50 \sum\limits_{j=s_0}^{j=s_2} \sum\limits_h P_{hj}{}^f \Big) \end{cases}$$

$$(10.30)\quad \begin{cases} 0{,}75\, Q_{s_0 i_0}{}^f = \sum\limits_{j=s_0}^{j=s_3} \sum\limits_h P_{hj}{}^f \rightarrow s_3 \\ T^f_{s_3 i_x k_3} = \dfrac{3}{2}(s_3 - i_x) \end{cases}$$

10.2. PRAZO RAZOÁVEL.

No parágrafo anterior admitimos que

$$(10.31)\qquad Q_{s_0 i_0}{}^f = Q_{ss}{}^f + \sum_{j=i_x}^{j=s} \sum_h P_{hj}{}^f$$

Vejamos o que se passa quando

$$(10.32)\qquad Q_{s_0 i_0}{}^f \neq \sum_h Q_{hss}{}^f + \sum_{j=i_x}^{j=s} \sum_h P_{hj}{}^f$$

Mostra a experiência que pràticamente em todas as grandes reparações, e às vezes até em certas construções, é preciso fazer outros trabalhos além dos pedidos de começo.

Suponhamos uma encomenda na qual à data do contrato, s_0, se previam gastar $Q_{s_0 i_0}{}^f = \Sigma\, Q_{hs_0 i_0}{}^f\, Hh$ mas que na semana actual, s, se prevê venha a exigir

$$(10.33)\qquad \sum_h \Big(Q_{hss}{}^f + \sum_{j=i_x}^{j=s} P_{hj}{}^f\Big) \neq Q_{s_0 i_0}{}^f$$

O aumento de trabalho relativo mede-se por

$$(10.34)\qquad \frac{\sum\limits_h \Big(Q_{hss}{}^f + \sum\limits_{j=i_x}^{j=s} P_{hj}{}^f\Big)}{Q_{s_0 i_0}{}^f}$$

Ora o prazo em que razoàvelmente é viável produzir (10.33) depende de vários factores, entre eles a praça disponível. Mesmo na hipótese teórica e extremamente favorável ao cliente do estaleiro ter uma potência ilimitada, o prazo teria de ser aumentado sempre que o aumento de trabalho relativo excedesse certos valores, em virtude da falta de espaço para se trabalhar à vontade.

A experiência do estaleiro aconselha a que se fixem prazos contando desde logo com 1,2 e 1,5 vezes mais trabalho que o definido na altura em que se contrata cada grande transformação ou reparação, conforme a pormenorização das listas de trabalhos inicialmente pedidos, bem como idade e estado do material. Admitimos pois não haver razões práticas para falar em aumentos de prazo, *por necessidade da regulação da produção*, sempre que

$$(10.35)\qquad \frac{\sum_h \left(Q_{hss}{}^f + \sum_{j=i_x}^{j=s} P_{hj}{}^f\right)}{Q_{s_o i_o}{}^f} \leq 1{,}25$$

Em contrapartida, quando

$$(10.36)\qquad \frac{\sum_h \left(Q_{hss}{}^f + \sum_{j=i_x}^{j=s} P_{hj}{}^f\right)}{Q_{s_o i_o}{}^f} = 2{,}00$$

parece razoável que o estaleiro proponha o adiamento da entrega para uma data que exceda a inicialmente prevista em cerca de 0,25 $(k_o - i_o)$.

Chamemos k_r a data para a qual é razoável o estaleiro adiar k_o, quando

$$(10.37)\qquad \frac{\sum_h \left(Q_{hss}{}^f + \sum_{j=i_x}^{j=s} P_{hj}{}^f\right)}{Q_{s_o i_o}{}^f} > 1{,}25$$

e admitamos que

$$(10.38)\qquad \frac{k_r - i_x}{k_o - i_o} = A \left[\frac{\sum_h \left(Q_{hss}{}^f + \sum_{j=i_x}^{j=s} P_{hj}{}^f\right)}{Q_{s_o i_o}{}^f}\right]^n$$

Será

$$(10.39)\begin{cases} \dfrac{\sum_h \left(Q_{hss}{}^f + \sum_{j=i_x}^{j=s} P_{hj}{}^f\right)}{Q_{s_o i_o}{}^f} = 1{,}25 \longrightarrow \dfrac{k_r - i_x}{k_o - i_o} = \\ = 1{,}00 \\ \dfrac{\sum_h \left(Q_{hss}{}^f + \sum_{j=i_x}^{j=s} P_{hj}{}^f\right)}{Q_{s_o i_o}{}^f} = 2{,}00 \longrightarrow \dfrac{k_r - i_x}{k_o - i_o} = \\ = 1{,}25 \end{cases}$$

$$(10.40)\begin{cases} 1{,}00 = A \,.\, 1{,}25^n \\ 1{,}25 = A \,.\, 2{,}00^n \end{cases}$$

$$(10.41)\begin{cases} 0 = \log A + n \log 1{,}25 \\ \log 1{,}25 = \log A + n \log 2{,}00 \end{cases}$$

$$(10.42)\qquad n = \frac{\log 1{,}25}{\log 2{,}00 - \log 1{,}25} = \frac{0{,}09691}{0{,}20412} = \\ = 0{,}47477 \simeq \boxed{0{,}50}$$

$$(10.43)\qquad A = \text{antilog}\ (-0{,}47477 \,.\, 0{,}09691) = \\ = 0{,}8995 \simeq \boxed{0{,}90}$$

E portanto

$$(10.44)\begin{cases} \dfrac{\sum_h \left(Q_{hss}{}^f + \sum_{j=i_x}^{j=s} P_{hj}{}^f\right)}{Q_{s_o i_o}{}^f} > 1{,}25 \\ k_r = i_x + 0{,}90\ (k_o - i_o) \times \\ \times \sqrt{\dfrac{\sum_h \left(Q_{hss}{}^f + \sum_{j=i_x}^{j=s} P_{hj}{}^f\right)}{Q_{s_o i_o}{}^f}} \end{cases}$$

É claro que também é razoável que o prazo deminua, se porventura

$$(10.45)\qquad \frac{\sum_h \left(Q_{hss}{}^f + \sum_{j=i_x}^{j=s} P_{hj}{}^f\right)}{Q_{s_o i_o}{}^f} < 0{,}75$$

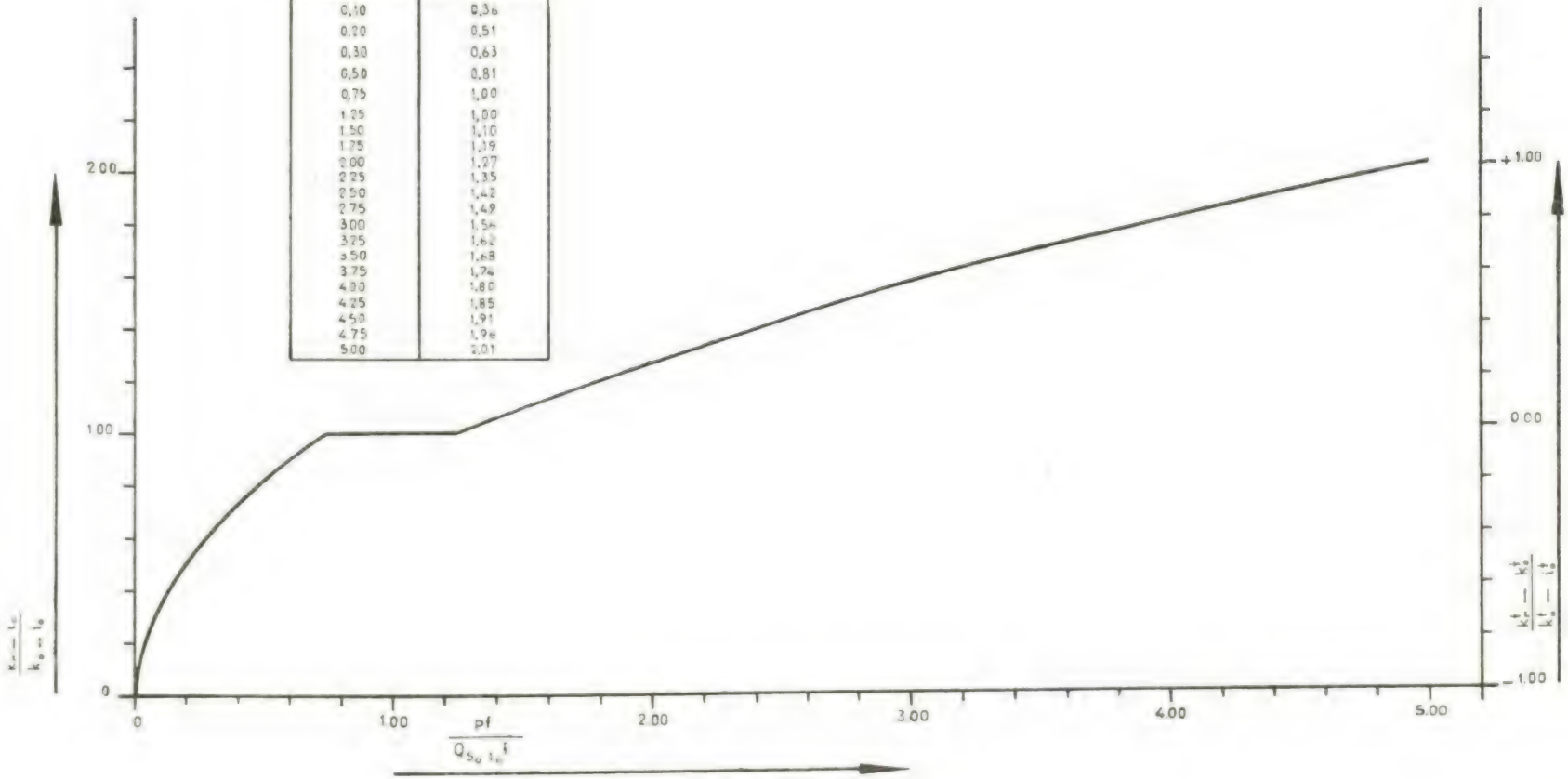
Continuando a admitir uma expressão da forma (10.44), mas tal que a curva $\dfrac{k_r - i_o}{k_o - i_o}$ passe pelo ponto (0,75; 1,00), teremos

$$(10.46)\qquad 1{,}00 = A \,.\, 0{,}75^{1/2}$$

$$(10.47)\qquad A = \frac{1{,}05}{\sqrt{0{,}75}} = 1{,}154 \simeq \boxed{1{,}15}$$

E portanto

$$(10.48)\begin{cases} \dfrac{\sum_h \left(Q_{hss}{}^f + \sum_{j=i_x}^{j=s} P_{hj}{}^f\right)}{Q_{s_o i_o}{}^f} < 0{,}75 \\ k_r = i_x + 1{,}15\ (k_o - i_o) \times \\ \times \sqrt{\dfrac{\sum_h \left(Q_{hss}{}^f + \sum_{j=i_x}^{j=s} P_{hj}{}^f\right)}{Q_{s_o i_o}{}^f}} \end{cases}$$



$\frac{pf}{Q_{S_0} t_0^f}$	$\frac{k_r - t_0}{k_0 - t_0}$
0,10	0,36
0,20	0,51
0,30	0,63
0,50	0,81
0,75	1,00
1,25	1,00
1,50	1,10
1,75	1,19
2,00	1,27
2,25	1,35
2,50	1,42
2,75	1,49
3,00	1,54
3,25	1,62
3,50	1,68
3,75	1,74
4,00	1,80
4,25	1,85
4,50	1,91
4,75	1,96
5,00	2,01

Fig. 10.14 — Data razoável de entrega.

De tudo isto se conclui aceitarmos como razoável a data k_r, definida em função de (10.34) tal como se indica na fig. 10.14.

A fig. 10.15 sintetiza as previsões do prazo que se podem fazer de acordo com a teoria exposta em três casos simples. $\widehat{01}$ é previsão inicial; $\widehat{23}$ a previsão que se impõe, se a cadência real de produção no primeiro terço do prazo inicial apenas permitiu atingir o ponto 2 e desde que não haja variação da produção total exigida pela encomenda; $\widehat{45}$ é a previsão lógica, se a cadência real de produção nos levou a 4, mas agora na hipótese da encomenda exigir mais Hh.

11. CUSTOS.

11.1 EXPRESSÃO GERAL.

Seja α_h \$/hH a taxa normal dos custos variáveis da secção homogénea h, isto é, o coeficiente de proporcionalidade entre custos e horas de presença, supostas normais. Seja β_h^t o acréscimo de turno t, isto é, o aumento a aplicar a α_h pelo facto do trabalho ser feito no turno t. Seja ainda γ_h^e o acréscimo de horas extras do horário e, isto é, o aumento a aplicar a α_h pelo facto do trabalho ser feito em horas extras.

Se se não recorrer à polivalência, o custo variável total da especialidade h, previsto para a semana $j \geqq s$, será em escudos

$$(11.1) \quad C_{hj} = W_{hj} \sum_{ted} [\tau_{hj}^t (\alpha_h + \beta_h^t) + \psi_{hj}^{te} {}_d\, y_{hjte}^d (\alpha_h + \gamma_h^e)]\, x_{hjt}$$

Como a produção que é lógico esperar deste esquema de distribuição de pessoal é K_{hj}, o custo variável unitário médio da produção da

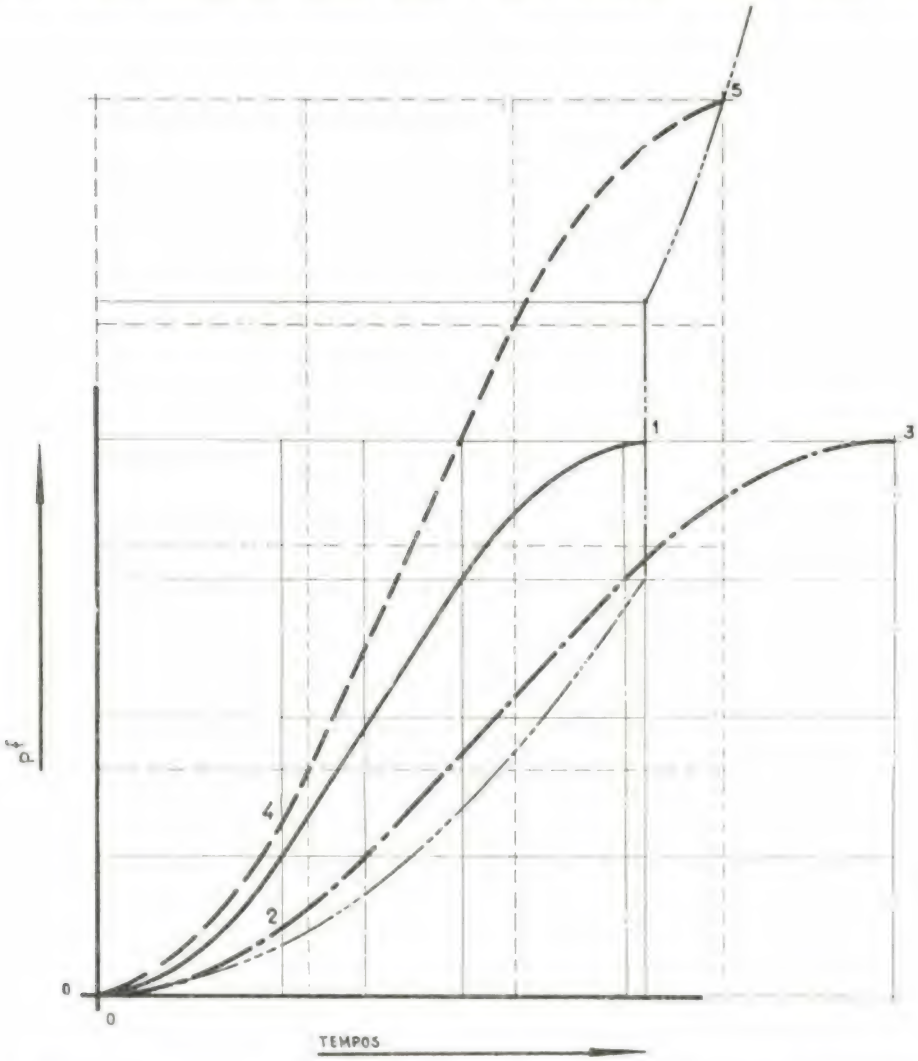


Fig. 10.15 — Variação de prazos previstos devida às alterações da cadência de produção e do trabalho total a realizar.

especialidade h, previsível para essa semana j, será, em $/hH

$$b_{hj} = \frac{C_{hj}}{K_{hj}} \tag{11.2}$$

Logo, o custo das horas de trabalho precisas para produzir a carga semanal prevista R_{hsj}, será, em $

$$b_{hj}\ R_{hsj} \tag{11.3}$$

O custo variável total das horas de trabalho necessárias para produzir as cargas semanais entre s e i, para todas as especialidades, será pois

$$\sum_{h} \sum_{j=s}^{j=i} b_{hj}\ R_{hsj} \tag{11.4}$$

11.2 CORRECÇÃO POR EFEITO DA POLIVALÊNCIA.

A expressão (11.4) é formalmente válida no caso de recorrermos à polivalência, caso em que haverá apenas que substituir C_{hj} e K_{hj} respectivamente por $C^h{}_j$ e $K^h{}_j$. $C^h{}_j$ é definido pela igualdade

$$C^h{}_j = W^h{}_j \sum_{ted} [\psi^h{}_j{}^t\ (\alpha^h + \beta^{ht}) + \psi^h{}_j{}^{te}{}_d\ y^h{}_{jte}{}^d\ (\alpha^h + \gamma^{he})]\ x^h{}_{jt} \tag{11.5}$$

onde o índice contravariante h tem o significado já assinalado. Notar que nesta hipótese o sistema de registo de ponto dos operários deverá assegurar que a origem do ponto de cada um é definida pela função que desempenha e não pela especialidade em que está inscrito na Secção de Pessoal. A questão não tem dificuldade de maior, mas só assim a cada função corresponderá uma secção homogénea, para a qual tenha sentido falar de α_h, β^{ht} e γ^{he}.

É também evidente que neste caso há que substituir b_{hj} por

$$b^h{}_j = \frac{C^h{}_j}{K^h{}_j} \tag{11.6}$$

e o custo total da produção, prevista entre s e i, será então

$$\sum_{h} \sum_{j=s}^{j=i} b^h{}_j\ R_{hsj} \tag{11.7}$$

11.3. CAPITAL IMOBILIZADO EM DÉBITOS.

Dissémos já, e nunca é demais salientar, quão importante se torna para uma empresa reduzir o capital imobilizado ao mínimo indispensável, para um certo volume de vendas. As três verbas características, que constituem a quási totalidade dos dinheiros imobilizados, (excluindo os investimentos de base), correspondem a

.1. Materiais em armazém (v. parágr. 4.1);
.2. Encomendas em curso (v. parágr. 9.4);
.3. Débitos de clientes.

Em especial quando as encomendas são feitas por custeio, há um desfasamento entre a entrega da produção ao cliente e a apresentação da factura, bem como entre esta e o pagamento. Durante esse intervalo de tempo há uma imobilização de capital do estaleiro que convém reduzir o mais possível. Aliás quanto mais tarde vai a factura tanto mais esquecem as circunstâncias que a explicam, a urgência, a necessidade ou o imprevisto dos trabalhos feitos e, portanto, tanto mais difícil se torna a sua discussão, por menor objectividade, sem benefício para ninguém.

A aceleração do envio da factura pouco tem que ver com os prazos de pagamento concedidos, os quais dependem da política comercial e financeira do estaleiro, que pode ou não incluir o financiamento de armadores a curto ou a longo prazo. O que não tem dúvida é a necessidade de acelerar a facturação e de, em cada negócio, acordar condições de pagamento claras e precisas.

Seja f uma encomenda iniciada na semana i, concluida na semana $k \geq s$, e que exigiu a produção

$$P^f = \sum_{h} \sum_{j=i}^{j=k} P_{hj}{}^f \tag{11.8}$$

Se $a_h{}^f$ for o preço de venda da produção $P_h{}^f$ (v. expressão (3.18), a factura a apresentar ao cliente atingirá o valor

$$G^f = \sum_{h} a_h{}^f\ P_h{}^f + \sum \text{preço venda material} \times \text{quantidade material vendida.} \tag{11.9}$$

A experiência mostra que, conforme o tipo de encomenda — construção de novos navios, reparações navais, construções metalomecânicas terrestres ou obras internas de beneficiação ou ma-

nutenção — e nas condições actuais de exploração do estaleiro, as percentagens da 2.ª parcela em relação ao total a facturar, G^f, distribuem-se em torno de valores modais característicos, com dispersões relativamente pequenas:

$$(11.10) \qquad 1 \cong \frac{\sum_h a_h^f \, P_h^f}{G^f} + const$$

Logo

$$(11.11) \qquad G^f \cong \frac{1}{1 - const} \sum_h a_h^f \, P_h^f$$

Em resumo, G^f pode exprimir-se linear e homogèneamente em P_h^f, corrigindo de maneira adequada o preço de venda da mão de obra, a_h^f, com um factor $\frac{1}{1 - const}$, definido estatìsticamente.

O quociente

$$(11.12) \qquad \frac{G^f}{P^f} = \frac{1}{1 - const} \sum_h a_h^f \, \frac{P_{hf}}{P^f}$$

será pois pràticamente constante para todas as sub-classes de encomendas em que a matriz

$$(11.13) \qquad \left\| \frac{P_h^f}{P^f} \right\|$$

o seja. Tal quociente mais não é que um preço de venda unitário fictício. Aliás, para determinados efeitos (ver parágr. 12.5.1) pode mesmo definir-se um valor médio desses quocientes:

$$(11.14) \qquad \overline{\left(\frac{G^f}{P^f}\right)} = \frac{\sum_f \frac{G^f}{P^f}}{\text{número de encomendas } f}$$

Chamemos tempo de facturação da encomenda f ao intervalo de tempo $\mathcal{T}^f_{skl}$ que, na semana s, se prevê demore a preparar a factura:

$$(11.15) \qquad \mathcal{T}^f_{skl} = l - k$$

Seja ainda $\mathcal{F}^f_{slm}$ o prazo de pagamento acordado com o cliente:

$$(11.16) \qquad \mathcal{F}^f_{slm} = m - l$$

Está bem de ver que o capital G^f vai ficar imobilizado durante o tempo

$$(11.17) \qquad \mathcal{V}^f_{skm} = \mathcal{T}^f_{skl} + \mathcal{F}^f =$$

$$(11.18) \qquad = m - k$$

o que corresponde à necessidade de debitar à conta de exploração do estaleiro a quantia

$$(11.19) \qquad \mathcal{G}^f = \frac{m - k}{52} \, . \text{ taxa de remuneração do capital } . \frac{1 - const}{1} \sum_h a_h^f \, P_h^f$$

e a reduzir portanto do mesmo quantitativo o resultado da exploração, Λ.

Uma vez que aquela taxa de remuneração varia correntemente de 4 a 6 % . ano^{-1}, podemos dizer que

$$(11.20) \qquad 0{,}77 \, . \, 10^{-3} \, (m - k) \, G^f \leqq \mathcal{G}^f \leqq$$
$$\leqq 1{,}15 \, . \, 10^{-3} \, (m - k) \, G^f$$

Ou, se quisermos usar um valor médio expedito,

$$(11.21) \qquad \mathcal{G}^f = \frac{10^{-3}}{1 - const} \, (m - k) \sum a_h^f \, P_h^f$$

Tudo quanto acabamos de dizer pressupõe o pagamento de G^f feito por uma só vez, na semana $m \cong k$. Na realidade existem encomendas muito importantes em que o pagamento é feito em prestações, algumas das quais vencidas antes da conclusão do trabalho, isto é, antes da semana k. Assim, o contracto de construção dum navio por orçamento pode prever as seguintes condições de pagamento:

25 % na data da assinatura do contrato;
15 % na data de assentamento da quilha;
25 % na data do lançamento;
25 % na data da entrega;
10 % seis meses depois da entrega (garantia).

Numa hipótese destas e admitindo que o cliente satisfaz os seus compromissos, como é normal, a quantia em débito após a entrega do navio reduz-se a 10 % . G^f e portanto será com este valor que em primeira aproximação se deverá calcular $\mathcal{G}^f$.

Nas encomendas por administração facturadas regularmente, (de mês a mês ou de 3 em 3 meses, por exemplo), considera-se que cada período de facturação gera um valor G^{fz}, a que correspondem semanas de acabamento e pagamento particulares, respectivamente k^z e m^z e, portanto, um valor particular $\mathcal{G}^{fz}$:

$$\mathcal{G}^{fz} = \frac{10^{-3}}{1 - const} (m^z - k^z) \times \sum_h a_h{}^f \sum_{j=i^z}^{j=i^z + \text{período de facturação}} P_{hj}{}^f \tag{11.22}$$

onde i^z é a semana de começo do período de facturação de ordem z. No final será

$$\mathcal{G}^f = \sum_z \mathcal{G}^z \tag{11.23}$$

(Continua)

ASSOCIAÇÃO PORTUGUESA DE FUNDIÇÃO

PORTO

Esta Associação Técnica, federada no Comité Internacional das Associações Técnicas de Fundição (C. I. A. T. F.) e no Comité Europeu das Associações de Fundição (C. E. A. F.), tem por objectivos principais o desenvolvimento da indústria fundidora nacional, nomeadamente através de uma acção de apoio tecnológico e por medidas de conveniente carácter formativo; pretende, ainda, mediante ligação com os comités mencionados, divulgar os mais avançados processos de fabrico e controle em uso no estrangeiro.

Foi, na verdade, o estado evolutivo dos movimentos de integração económica dos mercados internacionais que veio levantar, em pleno primeiro Colóquio Nacional de Metalurgia, iniciativa do Instituto Nacional de Investigação Industrial, o problema urgente da criação de uma Associação Técnica de Fundição, base duma infraestrutura educacional das fundições portuguesas. Com efeito, foi a Comissão organizadora constituída na Sessão de Conclusões Finais do referido Colóquio, que apresentou os Estatutos da A. P. F. à aprovação do Senhor Ministro da Educação Nacional.

Corpos Gerentes da A. P. F.

Direcção:

Presidente: Oliveira & Ferreirinhas, Ld.ª
Secretário: Minas de Vila Cova, SARL
Tesoureiro: Companhia União Fabril, SARL
Vogais: Companhia Metalúrgica Nacional, SARL
e Fundições do Rossio de Abrantes, SARL

Conselho Fiscal:

Presidente: Indústrias A. J. Oliveira, Filhos & C.ª, Ld.ª
1.º Secretário: Fundição Luís Alves
2.º Secretário: Augusto Martins Pereira, Herdeiros

Assembleia Geral:

Presidente: Companhia Portuguesa de Fornos Eléctricos, SARL
1.º Secretário: Metalúrgica Duarte Ferreira, SARL
2.º Secretário: Lusalite e Previdente de Angola, SARL

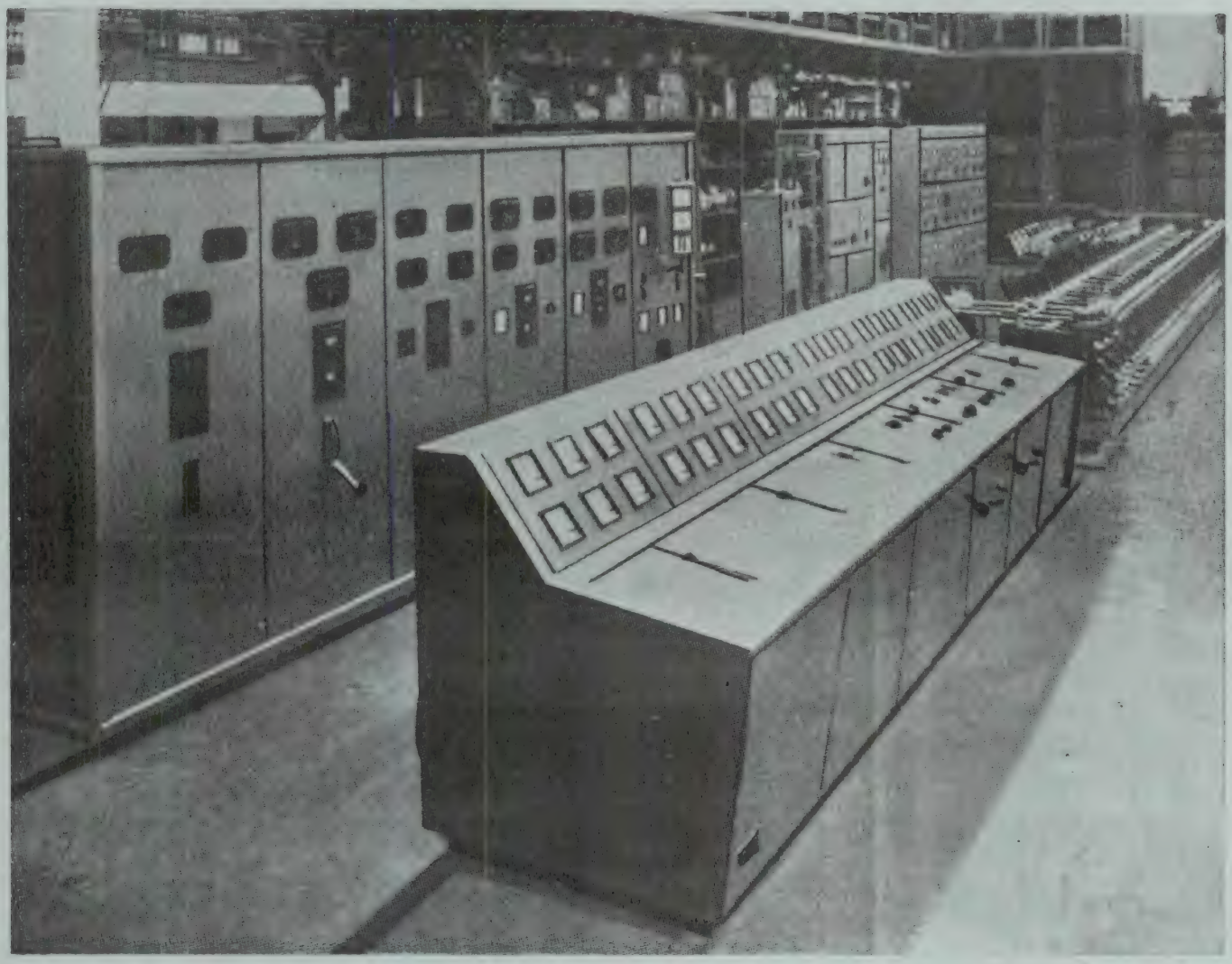
JAYME DA COSTA, L^DA

MECÂNICA E ELECTRICIDADE EM TODAS AS APLICAÇÕES

PORTO
Praça da Batalha, 12
Telef. 2 28 12 (PPC)

LISBOA
Rua dos Correeiros, 14
Telef. 32 70 35 (PPC)

LUANDA
Cx. Postal 5174
Telef. 4743



Material fabricado nas nossas oficinas, pronto para expedição

- Fabricação de aparelhagem eléctrica de alta e baixa tensão
- Equipamentos electromecânicos completos para centrais e fábricas
- Postos de transformação tipo monobloco
- Quadros blindados, capsulados e em armário
- Armaduras de iluminação de todos os tipos
- Contadores eléctricos e instrumentos de medida
- Telemedida e telecomando
- Instalações elevatórias de água
- Instalações de saneamento e esgotos
- Ferramentas de corte
- Motores Diesel industriais e marítimos
- Fogões eléctricos
- Frigoríficos
- Ventilação e condicionamento de ar
- Aparelhagem de Raios X e electromedicina

COMETNA

COMPANHIA METALÚRGICA NACIONAL, S. A. R. L.

Fabrica:

PEÇAS EM AÇO VAZADO PARA CAMINHO DE FERRO

Engates automáticos (licenças USINES ÉMILE HENRICOT, ENGLISH STEEL CASTINGS CORPORATION ou NATIONAL CASTINGS). Aparelhos de choque e tracção (licença CARDWELL WESTINGHOUSE). Bogies para vagões em aço vazado, tipo «A3 — Ride Control» (licença AMSTED INDUSTRIES). Bogies para vagões em aço vazado, tipo «C1» (licença NATIONAL). Bogies para vagões em aço vazado sem amortecedores de fricção (licença UEH). Triângulos de freio «UNIT», monobloc e compostos (licença AMSTED). Bogies em aço vazado para carruagens, tipo «Commonwealth» (licença GENERAL STEEL INDUSTRIES). Bogies em aço vazado para carruagens (licença ESC). Bogies «Monocloc» para locomotivas (licenças UEH, ESC ou GSI). Cilindros de vácuo, caixas de rolamentos e adaptadores, centros de rodas, cilindros de locomotivas, cepos de freio, tampões de choque, etc. Aparelhos de dilatação, tipo «Martinet» (licença ACIÉRIES DE HAINE — SAINT-PIERRE ET LESQUIN). Aparelhos de via e peças em aço manganês (licença H. St P & L)

COMETNA

SUCESSORA DE ALFREDO ALVES & C.ª (FILHOS)

Sede: Rua da Academia das Ciências, 5 — Lisboa, Telef. 3 43 31/2/3/4/5

C. D. U. 627.83/627.84

ÓRGÃOS DE DESCARGA E DE TOMADA DE ÁGUA DA BARRAGEM DE LOMAUM

PELO ENG.º ANTÓNIO QUINTELA
Assistente do Instituto Superior Técnico
Da Hidrotécnica Portuguesa

SUMÁRIO

Referem-se os condicionamentos que presidiram ao projecto dos órgãos de descarga (descarregador de superfície e descargas de fundo) e de tomada de água da barragem de Lomaum.

Descrevem-se as soluções adoptadas para aqueles órgãos e o seu comportamento nos ensaios hidráulicos em modelo reduzido.

1 — INTRODUÇÃO.

Entrou recentemente em exploração o aproveitamento hidroeléctrico de Lomaum, no rio Catumbela, em Angola, construído pela Hidro-Eléctrica do Alto Catumbela.

Este aproveitamento utiliza a queda natural nos rápidos de Lomaum, em que o rio desce da cota 1052 para a cota 872 num percurso de 2 km, concentrando-se os rápidos numa cascata com a queda de 110 m na extensão de 300 m em planta.

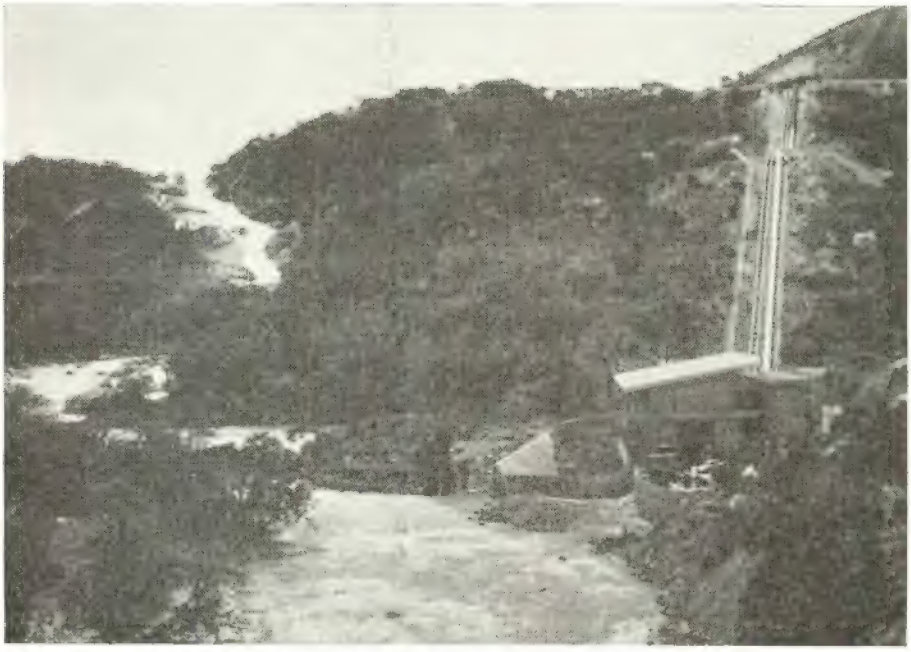


Fig. 1 — Aproveitamento de Lomaum Cascata, conduta forçada e central

Verifica-se a circunstância invulgar de poderem ser observadas simultâneamente a cascata, a conduta forçada e a central (figura 1).

A função dêste aproveitamento como elemento

produtor de energia e a descrição das suas características constam do artigo do Eng.º Amorim Ferreira «A electrificação da região do Centro-Oeste de Angola e o aproveitamento hidroeléctrico de Lomaum» publicado no número 22 da revista ELECTRICIDADE.

Os condicionamentos relativos aos órgãos de descarga e de tomada de água da barragem de Lomaum assumiram importância muito especial, tendo determinado a solução geral adoptada para a barragem.

Pretende-se com a publicação destas notas indicar os condicionamentos referidos, descrever e justificar as disposições previstas para os órgãos de descarga e de tomada de água e mencionar o seu comportamento nos ensaios hidráulicos em modelo; não se fará referência, portanto, aos aspectos estruturais e construtivos.

O projecto do aproveitamento hidroeléctrico de Lomaum foi elaborado pela Hidrotécnica Portuguesa e os ensaios hidráulicos da barragem, realizados pelo Laboratório Nacional de Engenharia Civil.

2 — CONDICIONAMENTOS. SOLUÇÃO GERAL.

A finalidade da barragem é:

— Criar uma albufeira para regularização diária dos caudais, com o nível mínimo de exploração à cota 1058 e o nível de retenção normal à cota 1061.
— Permitir a tomada de água para uma galeria em pressão, com um troço quase horizontal cujo eixo, junto à barragem, se situa cerca da cota 1018, e que se prolonga por duas condutas forçadas até à central.

A barragem foi construída num local de menor largura do vale, imediatamente a montante dos rápidos secundários que precedem a cascata de Lomaum. A existência de uma portela na margem direita obrigou à construção de um dique lateral.

No local da barragem, o terreno de fundação é um granodiorito, especialmente são na zona central do vale, tendo originado uma formação saibro-argilosa nas zonas dos encontros.

Os condicionamentos que influiram predominantemente no projecto foram:

— A necessidade de dar vazão a um caudal de 2400 $m^3 s^{-1}$.
— A preocupação de adoptar uma disposição conjunta das descargas de fundo e da tomada de água que permitisse a passagem para jusante do forte carregamento sólido das águas, evitando o assoreamento da albufeira, e que reduzisse o caudal sólido admitido nas obras de derivação.

Para que a obra projectada fosse eficaz em relação à passagem de caudal sólido, criaram-se duas descargas profundas, que foram dimensionadas de modo a escoarem uma fracção importante do caudal de máxima cheia.

Dada a tendência normalmente manifestada pelas camadas de escoamento mais carregadas de material sólido em seguir, dentro da albufeira, o leito natural do rio, tiveram de situar-se as descargas de fundo junto ao talvegue, para atingir o fim em vista. Para que junto da tomada de água não se formassem depósitos dos materiais transportados — que criariam más condições de escoamento e facilitariam a entrada de carrejos nas obras de derivação — situou-se aquele órgão junto das descargas de fundo.

De acordo com as condições anteriores, e com a finalidade de se obter a maior largura possível, na margem direita, para os descarregadores de superfície, implantou-se (figura 2) sòmente uma das descargas de fundo — aquela cujo funcionamento se estabelece que seja o mais frequente — no leito do rio e a outra — perpendicularmente à qual se faz a tomada — à sua esquerda.

À direita das descargas de fundo, a barragem é galgável e o seu traçado é circular em planta com a finalidade de obter um maior desenvolvimento para realizar a descarga das cheias, e de orientar os caudais descarregados para o talvegue do rio. À sua esquerda, existe a tomada de água, e o traçado da barragem é rectilíneo, seguindo aproximadamente a linha de festo do esporão existente na margem. Os encontros da barragem são de terra, em virtude de o granodiorito se apresentar alterado numa espessura apreciável, dando lugar a um saibro bastante argiloso e compactado.

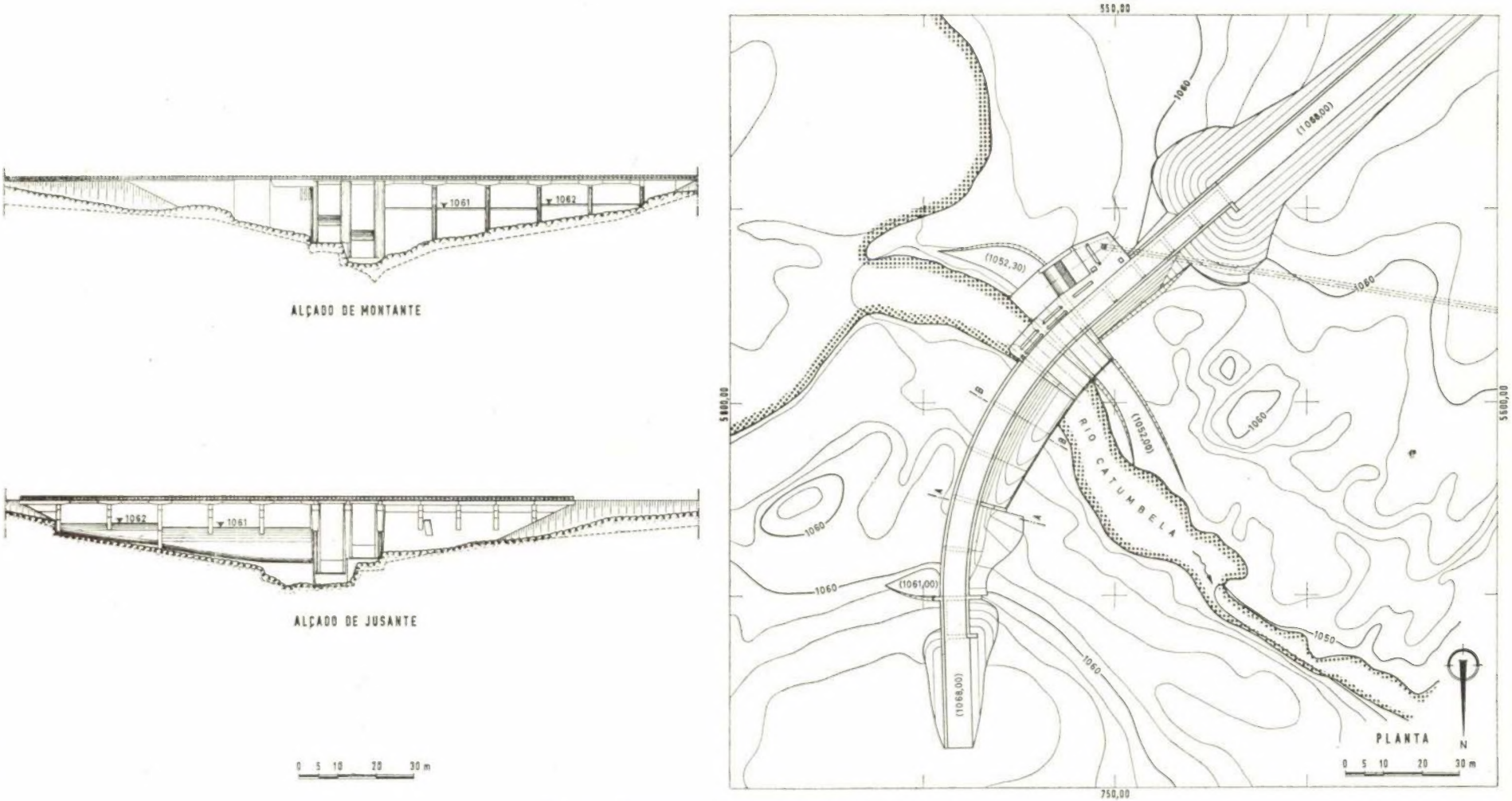


Fig. 2 — Barragem de Lomaum. Planta e alçados.

3 — DESCARREGADOR DE SUPERFÍCIE.

O descarregador de superfície é constituído por dois troços: o primeiro, com a crista à cota 1061, compreende três vãos entre os pilares que servirão de apoio à ponte rodoviária que passará sobre a barragem, e o segundo, com a crista à cota 1062, dois vãos (figuras 3 e 4). O comprimento de cada um dos vãos, medido segundo a crista, é de cerca de 12,30 m.

A vazão de cada um dos troços descarregadores para o nível de máxima cheia de 1066,90 é de cerca de 1200 e 550 $m^3 s^{-1}$.

O perfil transversal, no primeiro troço, apresenta-se com o paramento a montante vertical, e com o paramento a jusante de declive 1 : 0,85; a soleira arredondada é do tipo normal (sem depressões nem sobrepressões) para a carga de 4,20 m, definida segundo as normas do *U. S. Corps of Engineers*. O perfil, que funciona, portanto, bastante deprimido para o nível de máxima cheia (carga de 5,90 m), termina a jusante por um deflector circular que desvia a veia líquida do terreno, defendendo-o das velocidades elevadas e criando inferiormente um turbilhão protector.

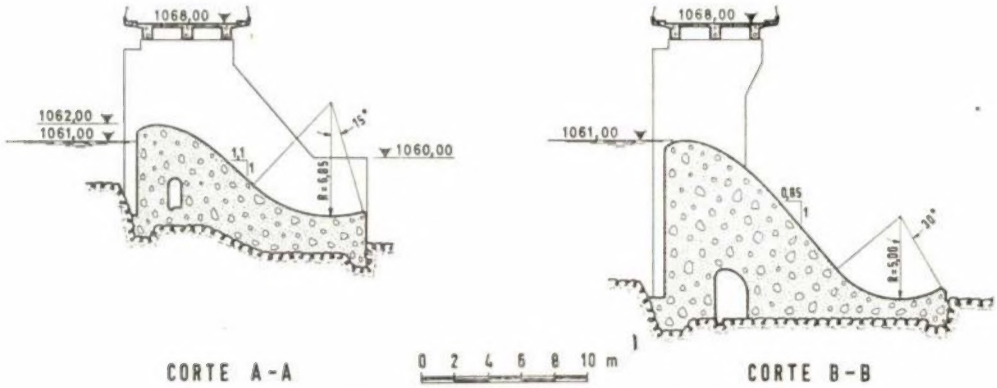


Fig. 3 — Perfis dos dois troços descarregadores.

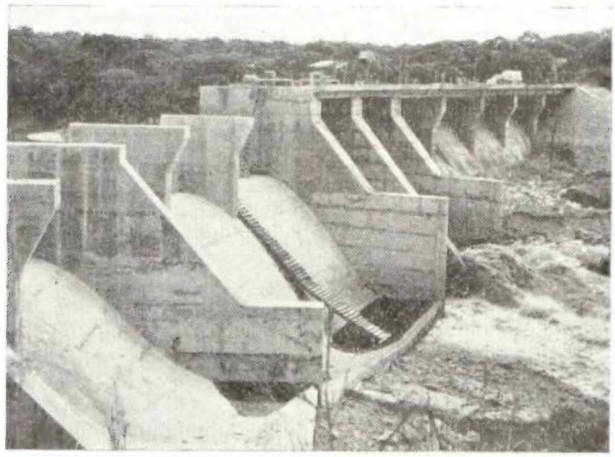


Fig. 4 — Descarregador de superfície e descargas de fundo vistos de jusante. Por ordem de afastamento de planos, observam-se o segundo troço descarregador, o primeiro troço descarregador e as descargas de fundo.

O deflector sobe para a margem, para adaptação ao terreno, mas para a máxima cheia funciona afogado em toda a extensão.

O perfil transversal, no segundo troço, apresenta-se com o paramento a montante vertical, e com o paramento a jusante de declive 1 : 1, 1; a soleira arredondada é do tipo normal para a carga de 4,20 m. O perfil termina a jusante por um deflector circular que provoca a mudança de direcção da veia líquida, fazendo-a sair paralelamente ao terreno, realizando-se a dissipação de energia em extensão para jusante. A construção de um deflector de funcionamento análogo ao de primeiro troço obrigaria a fundar a barragem a cotas inferiores àquelas a que se dispunha de rocha sã.

Contràriamente às disposições previstas para a dissipação de energia no primeiro troço, admite-se a não completa dissipação de energia junto do deflector do segundo troço, em virtude de funcionar menos frequentemente e em virtude da menor potência em excesso do escoamento, devida à menor altura de queda e ao menor caudal escoado.

4 — DESCARGAS DE FUNDO.

As descargas de fundo (figuras 5 e 6) realizam-se através de duas aberturas com 6 m de largura por 4,5 m de altura, reguladas por comportas planas. A soleira da descarga direita (que se situa no talvegue do rio) está à cota 1408; a da esquerda, à cota 1052. Totalmente abertas, permitem escoar um caudal de 650 $m^3 s^{-1}$ para o nível de máxima cheia de 1066,90.

As cabeças dos pilares das descargas de fundo e os bordos superiores das aberturas têm formas

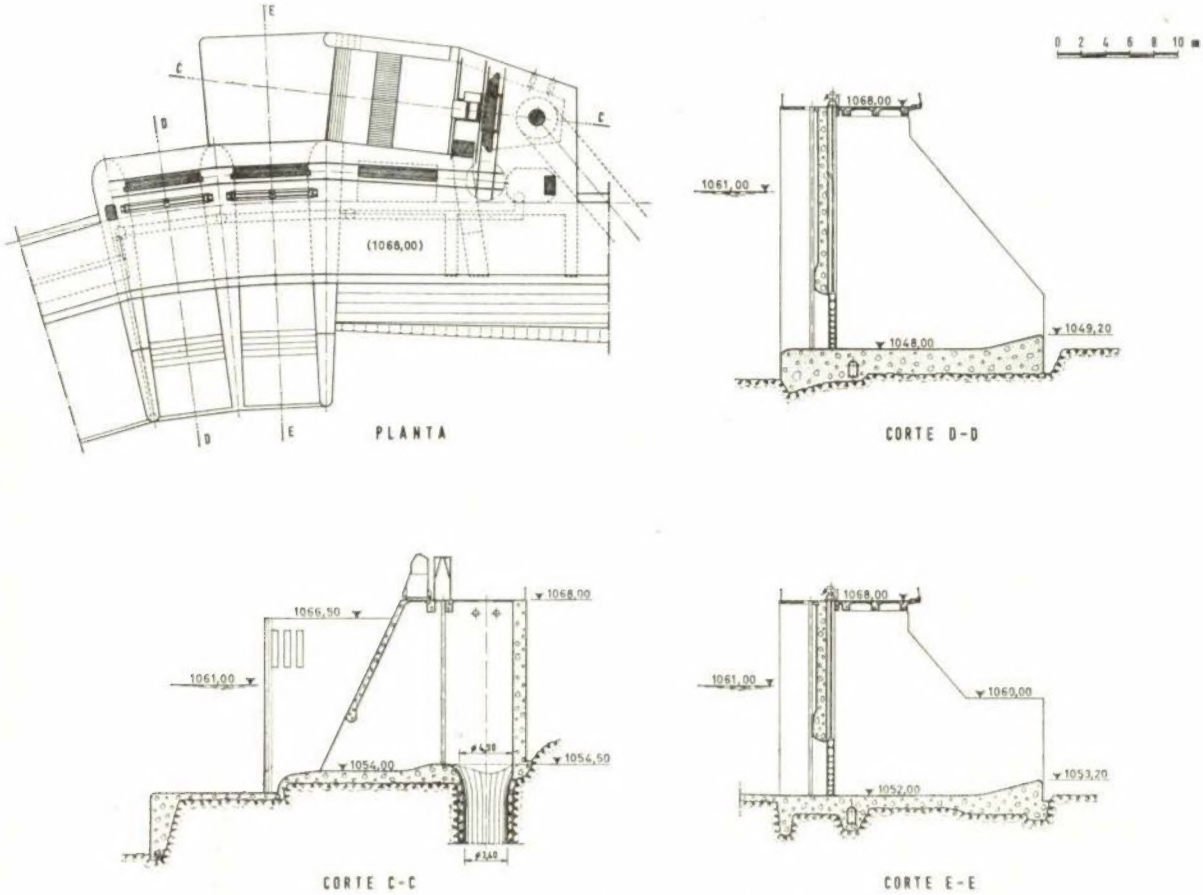


Fig. 5 — Descargas de fundo e tomada de água. Planta e cortes.

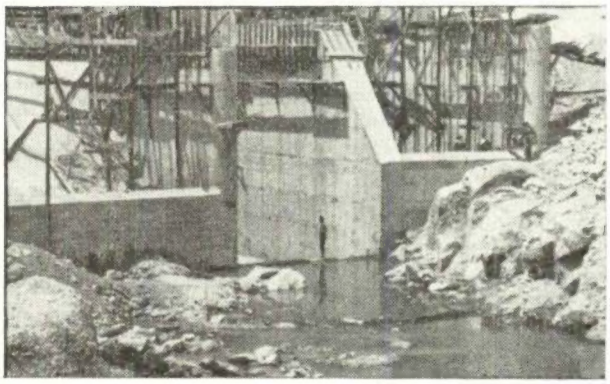


Fig. 6 — Descargas de fundo vistas de jusante durante a construção.

convenientes para reduzir a contracção. A forma daqueles bordos permite ainda que se possa apoiar contra eles o cordão de estanqueidade do topo superior da ensecadeira, constituída por elementos sobreponíveis. Estes elementos são manobrados por meio de um pórtico móvel sobre carris.

A descarga de fundo situada no talvegue do rio está orientado segundo a direcção do troço do rio a montante. A sua soleira, apresentando-se elevada em relação ao talvegue, é arredondada na extremidade de montante para diminuir a contracção.

As soleiras das descargas de fundo têm, na

extremidade de jusante, troços de declive 1 : 4, destinados a desviar a veia líquida do fundo do rio, protegendo-o das velocidades mais elevadas do escoamento.

A descarga do fundo do lado da tomada de água apresenta, a partir da extremidade de montante da sua soleira à cota 1052 e em toda a extensão da tomada de água, uma plataforma plana que termina por um muro com o paramento paralelo ao plano vertical do eixo do pilar que separa as duas descargas de fundo.

A soleira da plataforma é revestida de betão e inclinada para jusante a 0,03 para facilitar o transporte por arrastamento do material sólido e evitar a formação de turbilhões que o ponham em suspensão.

5 — TOMADA DE ÁGUA.

A tomada de água (figura 5), dimensionada para um caudal de 35 $m^3 s^{-1}$, é feita entre muros-guia de paredes verticais, segundo uma direcção que faz um ângulo de cerca de 10° com o troço rectilíneo da barragem. Um dos muros-guia é um troço da barragem.

Entre os muros-guia, está montada uma grelha metálica com a largura de 7,57 m e declive de 1 : 0,36. Apoia-se inferiormente, à cota 1054, na soleira da tomada de água, e superiormente, à cota 1058,40, numa laje de betão armado, com igual declive, que se prolonga até ao nível do coroamento. Os detritos acumulados sobre a grelha são removidos por um limpa-grelhas, móvel sobre carris, que os descarrega para uma abertura que atravessa o corpo da barragem.

Os muros-guia, paralelos no comprimento correspondente à grelha metálica e à laje que a prolonga, convergem na parte restante, apresentando um plano de simetria que contém o eixo do poço vertical de entrada para a galeria em pressão. A referida convergência provoca uma aceleração do movimento, que, aliada à forma simétrica da tomada, não é favorável à formação de vórtices e de zonas de separação, inconvenientes em órgãos de tomada.

Pretende-se evitar a entrada na tomada de água de materiais grosseiros transportados por arrastamento, situando a sua soleira a cerca de 2 m acima da plataforma revestida existente a montante, e dando-lhe no início uma forma arredondada para evitar o aparecimento de turbilhões que ponham em movimento os materiais sólidos transportados por arrastamento sobre aquela plataforma.

A jusante da grelha, a soleira da tomada de água mantém-se à cota 1054 num troço de cerca de 7 m, subindo depois até à cota 1054,50. Em seguida, tem lugar a intersecção da soleira da tomada de água com a transição em boca de sino para a secção circular de 3,40 m de diâmetro do poço vertical da galeria em pressão. Os muros-guia e o muro posterior da tomada são tangentes à secção circular de 4,30 m de diâmetro, pertencente àquela transição.

Nos muros-guia foram deixadas ranhuras para colocação de uma ensecadeira constituída por elementos sobreponíveis. Estes mesmos elementos podem também ser colocados nas aberturas das descargas de fundo para permitir a beneficiação das comportas. A sua manobra é feita por um mesmo pórtico móvel sobre carris, que, rodando sobre uma placa giratória, pode deslocar-se para as posições de manobra sobre os vãos das descargas de fundo e sobre o vão para depósito dos elementos.

Na definição de formas da tomada de água, tiveram-se em consideração as comunicações apresentadas por S. Angelin e por E. Reinius ao Congresso da I.A.H.R. de 1957, de Lisboa.

Nãs obstante as disposições adoptadas para que fosse reduzido o caudal sólido admitido na tomada de água, decidiu-se, dada a altura de queda utilizável na central, construir, na galeria em pressão, um desarenador de purga contínua, para evitar a abrasão das turbinas.

6 — ENSAIOS HIDRÁULICOS.

Foram realizados ensaios em modelo à escala 1/50, com a finalidade de estudar:

- As condições de escoamento à chegada ao descarregador de superfície, descargas de fundo, tomadas de água, e através destes órgãos.
- As condições de dissipação de energia a jusante da barragem.
- A passagem do caudal sólido pelos órgãos de descarga e a fracção admitida na tomada de água.

No que se refere ao estudo de condições de escoamento e à dissipação de energia, o ensaio